



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ NÁBOJE KOLA

DROP FORGING OF HUB

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN VOSTŘEL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MAREK ŠTRONER, Ph.D.

BRNO 2008

ABSTRAKT

VOSTŘEL Jan: Zápustkové kování náboje kola.

Projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia oboru B2307 předkládá návrh technologie výroby výkovku – náboje kola – součásti převodové skříně zhotovené zápustkovým kováním z materiálu 14 231.0. Na základě literární studie problematiky zápustkového kování a výpočtů, bylo navrženo kování na tři operace. Vzhledem k předpokládané sérii 40 000 kusů za rok, přesnosti a automatizaci výroby dané součásti, bude součást vyrobena na svislém klikovém kovací lisu LMZ 2500 (výrobce ŠMERAL Brno, a.s.), se jmenovitou tvářecí silou 25 MN. Zápustky jsou vyrobeny ze slitinové nástrojové oceli 19 552.8, tepelně zpracované podle výkresové dokumentace. Závěrem daného projektu je provedeno technicko – ekonomické zhodnocení dané technologie výroby součásti.

Klíčová slova: ocel 14 231, náboj kola, objemové tváření, zápustkové kování.

ABSTRACT

VOSTŘEL Jan: Drop forging of hub.

The project elaborated in a frame of Bachelor's studies branch B2307 presents a technology design of a forged piece – hub – a part of a gear box made by drop forging from 14 231.0 material. Drop forging in three operations was suggested on the basis of specialized studies on the subject of drop forging and calculations. Assumed series of 40 000 pieces a year, preciseness and automatization of production of the part, will be produced on the crank drawing inclinable press LMZ 2500 (producer Šmeral Brno, a.s.) with nominal tensile force 25 MN. Swages are made of alloyed instrumental steel 19 552.8, heat-worked according to drawing documentation. At the end of the project technical economic evaluation of the technology design is implemented.

Key words: 14 231 steel, hub, volumetric forming, drop forging.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VOSTŘEL Jan: *Zápustkové kování náboje kola*. Brno, 2008. 70 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Marek Štroner, Ph.D. Dostupný z WWW: <ust.fme.vutbr.cz/tvareni/publikace>.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 23.5.2008

.....
Jan VOSTŘEL

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Marku Štronerovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

Také děkuji panu Ing. Miloslavu Kopřivovi za pomoc při zpracování simulace zápusťkového kování v programu FormFEM 1.6.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

1 ÚVOD	10
2 LITERÁRNÍ STUDIE ZÁPUSTKOVÉHO KOVÁNÍ	11
2.1 Definice volného a zápusťkového kování [1]	11
2.2 Historie kování [5]	12
2.3 Volné strojní kování [1]	13
2.4 Zápusťkové kování [1]	13
2.5 Přesnost rozměrů a jakost povrchu zápusťkových výkovků [1], [2], [8]	14
2.5.1 Přídavky na obrábění [8]	14
2.5.2 Přídavky technologické [8]	15
2.5.3 Zaoblení hran u zápusťkových výkovků [8]	15
2.5.4 Minimální tloušťka dna a stěny výkovku [8]	16
2.5.5 Úkopy zápusťkových výkovků [8]	18
2.5.6 Tolerance zápusťkových výkovků [8]	19
2.6 Hlavní zásady pro volbu dělicí roviny [1], [2]	20
2.7 Rozdělení zápusťkových výkovků do tříd [16]	20
2.8 Výronková drážka a určení jejich rozměrů [2], [4], [8], [10], [11]	23
2.8.1 Výronková drážka pro buchar [10]	23
2.8.2 Výronková drážka pro svislý kovací lis [11]	26
2.9 Způsoby vedení zápusťvek [10], [11]	28
2.9.1 Vedení zápusťvek u bucharů [10]	28
2.9.2 Vedení zápusťvek u svislých kovacích lisů [11]	31
2.10 Ohřívací zařízení pro zápusťkové kování [1], [3]	31
2.11 Konstrukce ideálního předkovku [2], [3]	32
2.12 Rozdělení zápusťkových dutin u postupového kování na bucharu [2]	34
2.13 Konstrukce předkovací dutiny pro kování na svislých kovacích lisech [2], [3]	34
2.14 Upínání zápusťvek u bucharů [13]	35
2.15 Upínání zápusťvek na svislých klikových kovacích lisech [14]	36
2.16 Konstrukce a výpočet vyhazovačů [2], [11]	37
2.17 Volba kovacího stroje [1], [6]	37
2.18 Volba materiálu pro kovací nástroje [2], [4]	38
2.19 Mazání zápusťvek [2], [4]	39
2.20 Předehřev zápusťvek [1], [2], [4]	39
2.21 Základní rozdělení tvářecích strojů [6]	40
3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ	41
3.1 Kování na bucharech	41
3.2 Kování na svislých klikových kovacích lisech	42
3.3 Kování na vřetenových lisech	42

4 TECHNOLOGICKÝ POSTUP ZVOLENÉ TECHNOLOGIE	41
4.1 Zatřídění výkovku podle složitosti tvaru dle ČSN 42 9002	42
4.2 Materiál výkovku 14 231.0.....	43
4.3 Návrh výkovku	43
4.4 Přidavky na obrábění	43
4.5 Technologické přidavky	43
4.6 Výpočet hmotnosti výkovku.....	44
4.7 Výpočet hmotnosti výronku	48
4.8 Výpočet celkové hmotnosti výkovku	50
4.9 Návrh rozměru výchozího polotovaru	51
4.11 Stanovení kovací síly podle ČSN 22 8306	51
4.11 Teoretický výpočet kovací síly podle Tomlenova.....	53
4.11.1 Napětí v jednotlivých bodech průřezu výkovku	55
4.11.2 Síla vznikající od normálních složek napětí	55
4.11.3 Síla vznikající od tangenciálních složek napětí	55
4.11.4 Výsledná kovací síla	55
4.12 Výpočet kovací síly podle Brjuchanova - Rebelského	56
4.13 Výpočet kovací síly podle Storoževa	56
4.14 Volba tvářecího stroje.....	56
4.15 Výpočet síly na ostřížení vnitřního a vnějšího výronku	58
4.15.1 Výpočet střížné síly pro děrování vnitřního výronku	58
4.15.2 Výpočet střížné síly pro ostřížení vnějšího výronku.....	58
4.15.3 Celková střížná síla	58
4.16 Schematický postup kování s postupovým listem	59
5 NÁVRH SESTAVY A VÝROBNÍCH VÝKRESŮ	60
6 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	61
6.1 Náklady na výrobu součásti obráběním.....	61
6.2 Náklady na výrobu součásti zápusťkovým kovááním	62
6.3 Zhodnocení ekonomického propočtu	63
7 ZÁVĚR.....	64
Seznam použitých zdrojů.....	65
Seznam použitých symbolů a zkratek	68
Seznam příloh	69

1 Úvod

Předkládaná bakalářská práce se zabývá návrhem technologie výroby náboje kola pomocí zápustkového kování. Tato technologie výroby se řadí do objemového tváření kovů za tepla a patří k nejproduktivnějším metodám výroby používaných v současném strojírenství.

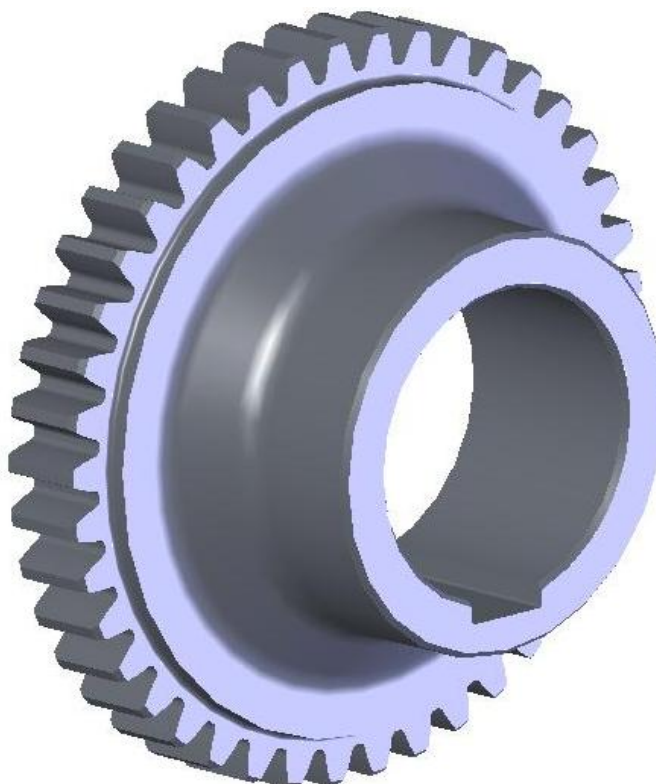
Nejvýraznějším znakem tváření je několikanásobně vyšší produktivita práce oproti třískovému obrábění. Zápustkové kování je průmyslový proces, při kterém je polotovar – výkovek – ohřátý na kovací teplotu a následně plasticky deformovaný pod velkým tlakem. Jak již bylo zmíněno, zápustkové kování řadíme do výrobních technologií s vysokou produktivitou práce, protože kusový čas výroby je velmi krátký, a to i vzhledem k malému počtu pracovních operací. Touto technologií výroby se vyrábějí výkovky složitých tvarů s velmi dobrými mechanickými vlastnostmi, které jsou dosaženy důkladným prokováním výkovku. Výkovky nacházejí svoje uplatnění v různých oblastech průmyslu, především v dopravě, zemědělství, vojenství atd. Je zřejmé, že tato technologie neztratí svoje důležité místo v budoucnosti.

Ve druhé kapitole jsou shrnuty poznatky o volném a zápustkovém kování a dále jsou navržena technologická doporučení pro návrh zápustkového výkovku.

Ve třetí kapitole je posouzena technologie zápustkového kování zadané součásti jak na bucharech tak na svislých kovacích lisech a je vybráno nejvhodnější zařízení pro danou součást.

V kapitole čtvrté je zpracován technologický postup výroby se všemi potřebnými výpočty, od stanovení polotovaru až k samotnému výrobnímu postupu.

V poslední páté kapitole je vypracováno technicko – ekonomické zhodnocení výroby dané součásti a je provedeno porovnání s obráběním.



Obr. 1 Náboj kola

2 Literární studie zápuštěkového kování

Technologie tváření řadíme do oblasti beztliskových technologií. Prostřednictvím této výrobní technologie se zhotovují jak polotovary, určené k dalšímu zpracování především obrábění, tak i hotové výrobky rozmanitých tvarů a rozměrů.

Schopnost kovu změnit svůj tvar pod vlivem vnějších sil a to bez porušení, umožňuje zásoba plasticity daného kovu a stav, při kterém kovy dostanou takové vlastnosti, které umožňují jejich přetvoření. Plasticita kovů nezávisí jen na vlastnostech materiálu, ale také na podmínkách tváření, přičemž kov může být plastický jen při zachování určitých podmínek.

Jedna z hlavních úloh technologie tváření je najít nejvhodnější podmínky pro přetvoření materiálu. Zkoumání vztahů mezi plastickými deformacemi a změnou fyzikálních vlastností kovů a to například při změně teploty je důležitým faktorem závislým na stupni přetvoření.

Technologie tváření se dělí na plošné a objemové tváření. Objemové tváření se uskutečňuje, pod rekrytalizační teplotou, nazývá se tváření za studena – pýchování, protlačování atd., anebo nad rekrytalizační teplotou, nazývá se tváření za tepla – volné a zápuštěkové kování.

Největší přednost tváření kovů za tepla před tvářením za studena je především ta skutečnost, že při teplotách kování je odpor proti deformaci značně nižší a tvárnost kovů je podstatně větší než při deformaci za studena. Tvařitelnost závisí nejen na vlastnostech deformovaného kovu – přirozeném přetvárném odporu (chemickém složení, struktuře a jejímu stavu [R_e , R_m], stavu přetvoření ϕ , teploty tváření T a rychlosti přetvoření $\dot{\phi}$), ale také na podmínkách deformace – deformačním odporu (vlivu tření, vlivu změny geometrie tvaru, vlivu změn teplotních podmínek, vlivu napjatosti a změn nerovnoměrné napjatosti a vlivu lokálních změn rychlosti přetvoření při toku kovu).

2.1 Definice volného a zápuštěkového kování [1]

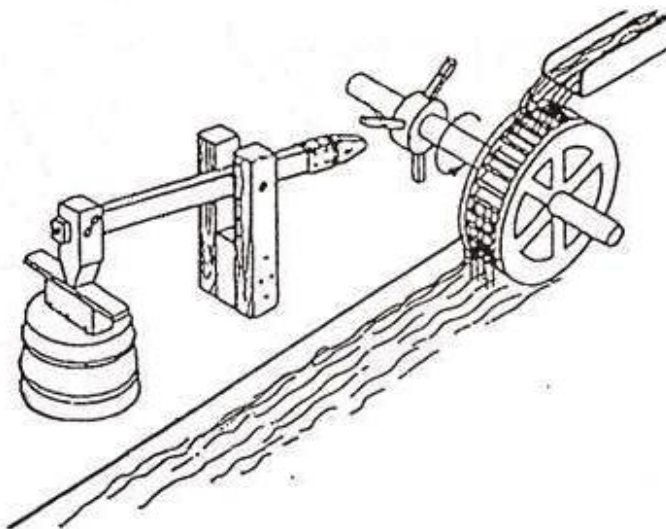
Objemové tváření patří mezi velmi produktivní a hospodárné metody výroby s vysokou perspektivou ve strojírenství. Výkovky jsou pevné a lehké, využití materiálu je velmi hospodárné, s velmi malým odpadem, Odpad tvoří asi 5 až 10% z celkové hmotnosti materiálu, což představuje asi čtvrtinovou hodnotu oproti obrábění. Výkonnost strojního zařízení je vysoká. Výrobní pochody se mohou dobře mechanizovat a automatizovat, takže se při vyšších sériích podstatně snižují výrobní náklady.

Strojní kování ve velké míře ulehčuje těžkou namáhavou manuální práci. Především zrychluje a zproduktivňuje výrobu jak malých a středně velkých výkovků tak umožňuje výrobu těžkých výkovků, na které lidská síla nestačí. Podle způsobu práce se strojní kování dělí na volné a zápuštěkové.

Materiál se tváří strojně i jinými způsoby, např. podélným nebo příčným klínovým válcováním. Získávají se tak konečné tvary výkovků nebo polotovarů, které je nutno ještě dále tvářet v zápuštěce. Při zápuštěkovém kování se klade hlavní důraz na nejmenší spotřebu materiálu, nejpriznivější průběh vláken, požadovanou přesnost výkovku, a na ekonomickou efektivnost výrobního procesu. Kovárenskou výrobou lze připravovat polotovary požadovaných tvarů a rozměrů, ale také do značné míry zlepšovat původní mechanické vlastnosti materiálu. Dochází ke zvýšení pevnosti materiálu na mezi kluzu v tahu R_e a meze pevnosti materiálu v tahu R_m , houževnatosti a také částečně tvrdosti.

2.2 Historie kování [5]

V historickém vývoji lidstva je důležitým mezníkem doba, kdy si lidstvo osvojuje kovy jako materiál vhodný ke zhotovení především pracovních nástrojů. Jeden z největších významů pro život lidstva mělo využívání kovů a to nejprve mědi, která se nejprve používala bez příměsí, později ve slitinách s jinými kovy. Později se člověk naučil tento kov zpracovávat vedle odlévání mnohem výhodnějším způsobem – kováním, a to obvykle na zbraně, nástroje, jednoduché nádoby nebo ozdoby.



Obr. 1 Vodní buchar – HAMR [6]

Kovářství je jedno z nejstarších řemesel a svůj charakter si uchovává dodnes. Kovářství bylo ve své dlouholeté historii vždy řemeslem, které vyžadovalo nejvíce odborných znalostí. Na sklonku svého vývoje bezprostředně navazovalo na výrobu železa. Mimo odlévání se železo zpracovávalo ručním kováním pomocí klasického nářadí: kladivo, kovadlina, kovářské kleště. Ohřev materiálu probíhal v kovářské výhni, kde se topilo dřevěným uhlím a pomocí měchů do ní byl ručně vháněn vzduch, čím se zvyšovala teplota hoření. V našich zemích došlo k rozvoji strojního kovárenství na přelomu 16. a 17. století výstavbou vodních hamrů. Hamr byl buchar poháněný vodní silou, jeho princip je zřejmý z obr. 1. Hamr se nacházel v blízkosti tavicí pece určené na výrobu těstovité železné hroudy promísené struskou, která se v další fázi ohřívala ve výhni a kovala se pod bucharem na požadovaný tvar. V těchto hamrech se ve své době kovala celá řada výrobků. Patřily mezi ně obruče, radlice, hřídele, sekery, kosy, zbraně atd. Výroba v nich u nás zanikla až po druhé světové válce. Progresivní rozvoj kovářských strojů nastává v období rozvoje železnic kolem roku 1850. V těchto letech byl sestaven první padací buchar. Tyto buchary byly používány v hutích ke kování svazků svařkového železa používaného při stavbě železnic.

Intenzivní vývoj technologie tváření a tvářecích strojů nastal během první světové války, zvláště pak po roce 1918. S vývojem automobilového a leteckého průmyslu nastává velký rozmach ve výrobě přesných zápusťkových výkovků. Zápusťkové kování znamenalo rychlou výrobu přesných součástí z oceli a později i z hliníkových slitin. Pro výrobu menších výkovků se rozšířily pružinové buchary, jenž byly odvozeny od vodních hamrů. Později došlo k nahrazení pružiny vzduchovým „polštářem“ a tím vznikly pneumatické buchary. Na začátku 20. století se začalo pro kování používat také mechanických, vřetenových, hydraulických a jiných lisů. Vývoj strojů jakož i technologie zápusťkového kování byl oproti volnému kování daleko různorodější.

2.3 Volné strojní kování [1]

Volné strojní kování je takový druh kování, při kterém se používají jednoduché kovářské nástroje, přípravky a stroje. Přesnost rozměrů výkovků jsou malá, povrch je drsný a nerovnoměrný. Nejvhodnějším výchozím materiálem jsou předvalky, u těžkých výkovků surové ingoty.

Jednou z nejpoužívanějších operací při volném strojním kování je prodlužování (kování do délky). Podstata spočívá v provedení většího množství pýchovacích operací vedle sebe, čímž dojde k prodloužení materiálu, a zároveň se zmenší plocha příčného průřezu. Mezi další operace volného kování řadíme osazování, prosazování, přesazování, sekání a děrování. Další významná operace je nazývána pýchování. Pýchování je buď konečná kovářská operace vhodná ke kování plochých výkovků (příruby, víka atd.), nebo jako prvotní operace určená pro dokonalé prokování materiálu a výhodnější průběh vláken materiálu. Při pýchování se zmenšuje výška výchozího materiálu, zvětšuje se plocha tvářeného průřezu a odpadají okraje.

Nejpoužívanějšími nástroji jsou horní a spodní kovadla. Rybinovité části kovadel slouží k upevnění do stroje. Díry v čelní stěně slouží k manipulaci s nástrojem. Pracovní dráhy kovadel jsou pootočené od svislé roviny bucharu o úhel 35 až 45°, aby bylo možné tvářet materiál jak v podélném tak i v příčném směru.

K volnému strojnímu kování se používá různých tvářecích (kovacích) strojů, zejména bucharů a lisů.

Buchary působí na tvářený materiál údery (rázy) beranu, ale většinou je prováděno prokování jen do určité hloubky. Hospodárně lze kovat středně velké výkovky, popř. předkovky. Předkovky se dále kovájí v zápustkách na požadovaný tvar výkovku. Při úderech beranu bucharu odpadají z tvářeného materiálu okraje, a proto je povrch výkovků vyráběných na bucharech kvalitnější. Ovšem rázy se přenášejí do základu stroje a působí otřesy i v okolí.

Lisy působí na tvářený materiál klidným tlakem a ve většině případů je přetvořen (prokovan) materiál v celém průřezu. Kovají se na nich i nejtěžší výkovky. Práce na lisech je bezpečnější než na bucharech.

2.4 Zápustkové kování [1]

Pod pojmem zápustkové kování rozumíme tváření polotovaru ohřátého na kovací teplotu, v dutině nástroje – zápustky, která je ohřána na provozní teplotu. Polotovar je vtlačována do dutiny zápustky a tzv. řízeným tečením vyplňuje dutinu zápustky. Aby došlo k úplnému zaplnění zápustky, má materiál větší objem a přebytečný materiál je vtlačen přes můstek do dutiny výronku.

Tvary zápustek a jejich upevnění jsou přizpůsobeny použitému tvářecímu stroji. Nejběžněji používané zápustky jsou dvoudílné se spodním a horním dílem zápustky. Tvar zápustky je shodný s tvarem výkovku a je zvětšen o hodnotu smrštění vychlazeného výkovku. Tento způsob kování vyžaduje výrobu jednoúčelových nástrojů – zápustek. Proti volnému kování se však dosáhne mnohem přesnějšího tvaru výkovku. Zápustkovým kovááním se dosáhne vysokého stupně přetvoření a průběh vláken sleduje obrys zápustkového výkovku. Při kování na bucharu je zápustková dutina vyplňována postupně během několika úderů beranu. Počet úderů závisí na tom, za jak dlouho na sebe dosednou zápustky. Při kování na lisech je výkovek zhotoven v průběhu jednoho zdvihu nebo při použití postupové zápustky na několik zdvihů.

Hlavní předností tohoto způsobu kování je vysoká výkonnost a jednoduchá obsluha stroje. Používá se zejména v sériové a hromadné výrobě.

Zápustky se zhotovují z ocelí, které se vyznačují zvýšenou odolností proti otěru a pracovním teplotám. Jsou to především tyto nástrojové oceli 19 552, 19 650 a 19 720. Zápustky jsou zušlechťeny. Dutiny zápustek se zhotovují obráběním a vzhledem k požadovaným vysokým mechanickým vlastnostem zápustky se mnohdy používají některé nekonvenčních technologií, jako je elektroerozivní obrábění, mělké tvary nastřelováním, vtláčováním apod. Jako dokončovací operace se používá leštění.

Přesné kování se provádí v zápustkách bez dutiny pro výronek, nazývá se také jako kování v uzavřených zápustkách. Tento způsob kování je velmi náročný, protože objem výchozího polotovaru musí být velmi přesně stanoven. Přesné kování patří mezi speciální metody zápustkového kování a lze ji použít při kování na zápustkových bucharech i lisech, ale přednostně se tato metoda používá na vertikálních a horizontálních kovacíh lisech.

Konečná úprava výkovku je nutná z hlediska dosažení požadovaného konečného tvaru výkovku. Mezi tyto operace řadíme ostříh výronku, děrování vnitřního výronku (blány), kalibrování a rovnání výkovku. Po tepelném zpracování výkovku, nejčastěji po normalizačním žíhání, následuje odstranění okují mořením nebo tryskáním.

2.5 Přesnost rozměrů a jakost povrchu zápustkových výkovků [8]

2.5.1 Přídavky na obrábění [8]

Zápustkové výkovky, u kterých je požadována velká rozměrová přesnost, malá drsnost povrchu a velmi dobrá jakost povrchu, jenž se vyžaduje u součástí k cementování, nitridování a povrchovému kalení, je nutné po vykování obrábět. Vnitřní a vnější povrchy výkovku vyráběných kováním za tepla jsou vždy znehodnoceny a přídavek na obrábění je rezerva, která umožňuje odstranění tohoto znehodnoceného povrchu. Horní vrstva výkovku je dosti drsná a je do značné míry pokryta okujemi, které jsou při kování na lisu zakovány do povrchu, což u kování na bucharu není tak značné, protože rázy zapříčiní odpadávání okují. Drsnost povrchu výkovku závisí především na způsobu ohřevu polotovaru, na kvalitě povrchu zápustky a na druhu použitého maziva. Vrstva okují se odstraní mořením, pískováním nebo omíláním v bubnu. Po odstranění okují se i nadále povrchu výkovku objevují dutiny po zakovaných okujích. Pod povrchem je ocel do určité hloubky oduhličena. Velikost přídavku ovlivňuje zejména četnost povrchových vad, mezi které řadíme šupiny, přeložky, trhliny atd. V důsledku vzniku těchto vad, se stanovují přídavky na obrábění, a to především podle:

1. stupně přesnosti kování – tři stupně přesnosti:
 - obvyklé,
 - přesné,
 - velmi přesné provedení,
2. způsobu kování – podle typu použitého stroje:
 - lisy,
 - buchary,
 - vodorovné kovací lisy,
3. stupně obtížnosti kování podle materiálu:
 - stupeň M1 – oceli s obsahem uhlíku do 0,65% a přísad do 5%,
 - stupeň M2 – oceli s vyšším obsahem uhlíku a přísad,
4. hmotnosti hotové součásti – ze vzrůstající hmotností se přídavky zvětšují,

5. rozměrů hotové součásti – rozměry součásti jsou spjatý s požadovaným přídatkem podle normy ČSN 42 9030.

Tab. 1. Přídatky na obrábění ploch pro obvyklé provedení [8]

PŘÍDAVKY NA OBRÁBĚNÍ PLOCH PRO OBVYKLÉ PROVEDENÍ (mm)									
Největší průměr, střední hodnota šířky a délky ve směru kolmo k rázu		Největší výška hotového výkovku							
		přes	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
přes	do	Přídatky na obrábění ploch							
	25	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0			
25	40	1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5		
40	63	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5		
63	100	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	
100	160	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	
160	250	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5
250	400	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0
400	630	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
630	1 000	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0

2.5.2 Přídatky technologické [8]

Strojírenské výrobky velmi často nebývají svým tvarem vhodné k zápusťkovému kování. Proto je nutné tvar součásti upravit o tzv. technologické přídatky, mezi které především řadíme:

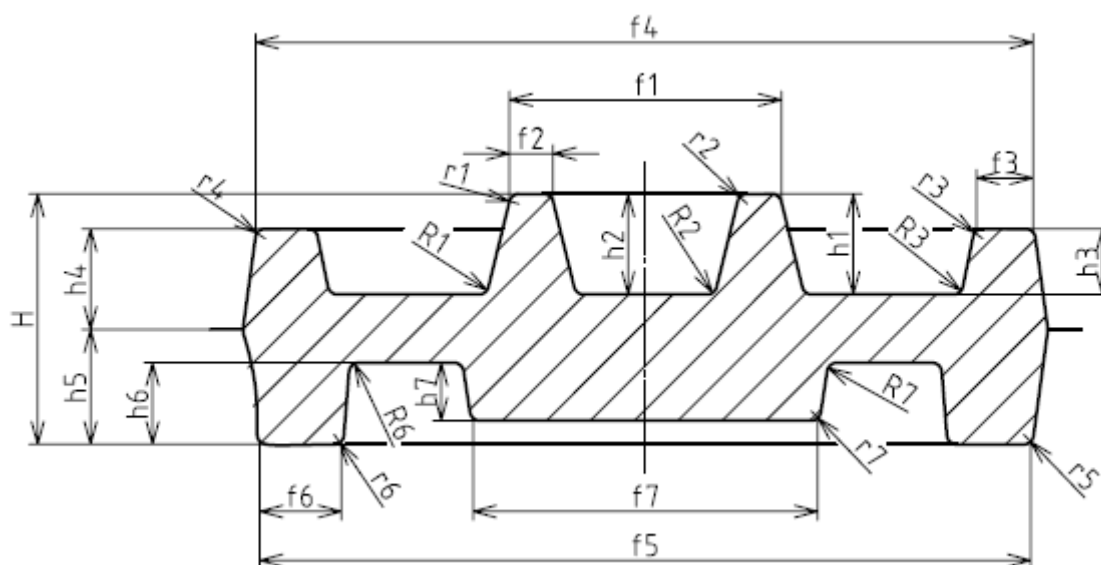
- zaoblení hran a přechodů,
- tloušťka dna a stěny výkovku,
- boční úkosy,
- dovolené deformace ustrižených konců.

2.5.3 Zaoblení hran a přechodů u zápusťkových výkovků [8]

Zaoblené hrany a přechody na výkovku se volí především z hledisky konstrukce zápusťky. Hodnoty zaoblení hran a rohů volí s ohledem na životnost zápusťky co největší. Tím se sníží opotřebení hran dutiny zápusťky a do určité míry se eliminuje nebezpečí vzniku vrubových trhlin u kořene hlubokých dutin. Také se zlepší celkové tečení materiálu v zápusťce, v jejímž důsledku nevzniknou přeložky a k vykování výkovku je zapotřebí méně úderů na bucharu či menší síly při kování na lisu. Ovšem z hlediska spotřeby materiálu nejsou velké hodnoty zaoblení výhodné. Stanovení zaoblení hran r a přechodů R u výkovků je zřejmé z tab. 2 a obr. 2, která je podřízena normě ČSN 40 9030.

Tab. 2. Zaoblení hran **r** a přechodů **R** u výkovků [8]

ZAOBLNÍ HRAN r A PŘECHODŮ R U VÝKOVKŮ (mm)							
Výška (hloubka) H		Poloměry zaoblení hran a přechodů při poměru					
		$\frac{h}{f} \leq 2$		$2 < \frac{h}{f} \leq 4$		$\frac{h}{f} > 4$	
přes	do	r	R	r	R	r	R
	25	2	6	2	8	3	10
25	40	3	8	3	10	4	12
40	63	4	10	4	12	5	20
63	100	5	12	6	20	8	25
100	160	8	20	8	25	16	40
160	250	12	30	16	45	25	65
250	400	20	50	25	75	40	100
400	630	30	80	40	120	65	150



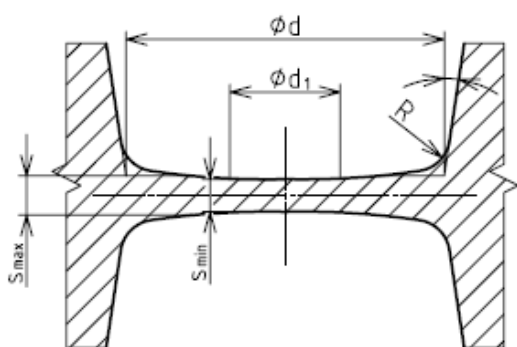
Obr. 2 Hodnoty zaoblení hran a přechodů u výkovků [8]

2.5.4 Minimální tloušťka dna a stěny výkovku [8]

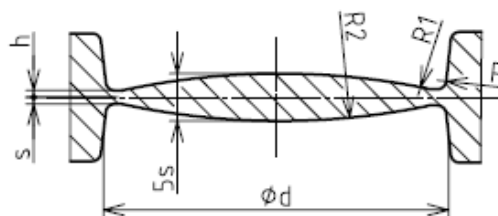
U tenkostěnných výkovků a žeber se nedoporučují kovat příliš velké stěny, protože ocel ve styku se zápustkou rychle chladne, čímž se tváření ztěžuje a dochází k rychlému opotřebení zápustky. U mechanických kovací lisů nebo u vřetenových lisů, může dojít k jejich značnému přetěžování. Stěny tenkých součástí je proto nutné zvětšovat o technologické přídavky. Hodnoty nejmenší tloušťky dna nebo blány výkovku H_1 uvedené v tab. 3, platí pro obráběné a neobráběné plochy výkovku viz. obr. 5. Pro případ, že $d - 1,25 \cdot R > 26$, doporučuje se udělat blánu s úkosem do středu (obr. 3). Přitom tloušťka blány $s_{\min} = 0,65 \cdot H_1$, $s_{\max} = 1,35 \cdot H_1$, kde H_1 se počítá jako pro obyčejnou blánu.

Při kování nízkých kruhových výkovků velkého průměru a hlavně u výkovků, které se kovají z předkovaných kruhů, doporučuje se tvar blány dle obr. 4. Potom tloušťka $s = 0,4\sqrt{d}$, poloměr $R_1 = 5 \cdot h$. Poloměr R_2 je nutno vyhledat graficky. Funkce této blány se značně blíží funkci výronku.

Příslušné min hodnoty tloušťky dna a stěny výkovku či tloušťky příruby jsou dány v tab. 3 v závislosti na hloubce dutiny h či na šířce příruby.



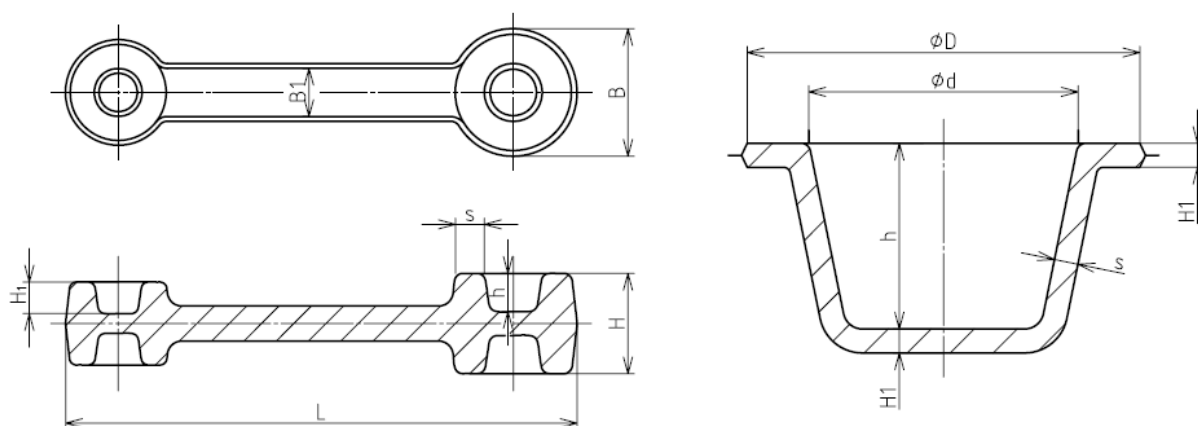
Obr. 3 Tvar blány s úkosem do středu [6]



Obr. 4 Tvar blány s rádiusem [6]

Tab. 3 Nejmenší tloušťka dna, blány, disku H_1 a stěny s výkovku [8]

NEJMENŠÍ TLOUŠŤKA DNA, BLÁNY, DISKU H_1 A STĚNY s VÝKOVKU									
Největší rozměr výkovku ve směru kolmo k rázu (B, D)		Největší výška hotového výkovku H							
		přes	10	25	40	63	100	160	250
		do 10	25	40	63	100	160	250	400
přes	do	Nejmenší tloušťka dna, disku H_1 a stěny s							
	40	4	5	6	7	9			
40	63	5	5	6	7	9	11		
63	100	5	6	7	9	11	13	15	
100	160	6	7	9	11	13	15	17	20
160	250	8	9	11	13	15	17	20	25
250	400	10	13	15	17	20	25	30	35
400	630			20	25	30	35	40	50
630	1 000			25	30	35	40	50	60



Obr. 5 Hodnoty nejmenší tloušťky dna a blány výkovku [8]

2.5.5 Úkosy zápustkových výkovků [8]

Velikost bočních úkosů se určuje podle tvaru výkovku a druhu tvářecího stroje. V tab. 4 jsou uvedeny doporučené boční úkosy podle ČSN 40 9030. Pohybují se v rozmezí $0 \div 10^\circ$. Pro vnitřní plochy se volí větší úkosy než pro vnější plochy, což je dáno smrštěním výkovku při chladnutí. U horizontálních kovacíh strojů je možno úkosy podstatně zmenšit.

Boční úkos je technologický přídavek, kterým se vždy zvětšuje minimální přídavek na obrábění. Minimální přídavek je vždy na hranách a rozích výkovku, tím pádem je nutné dbát na dokonalé zatékání kovu do zápustky a dokonalé očištění výkovku od okují, aby v těchto místech nebyl přídavek zmenšován.

Při použití vyhazovačů můžeme volit menší úkosy, což platí pro lisy. Pro lisy bez vyhazovače či buchary je nutno volit větších úkosů. Přitom u mělkých dutin z výrobního hlediska je výhodnější volit větší úkosy, protože výkovek lze snadněji vyjmout, a naopak u hlubokých otvorů jsou úkosy z hlediska menší spotřeby materiálu méně potřebné.

Tab. 4. Úkosy zápustkových výkovků [8]

ÚKOSY		
	vnější	vnitřní
Zápustkové výkovky se běžně vyrábějí s úkosy	3°	7°
Vzhledem k rozdílné úrovni technologického zařízení výrobců výkovků se dovolují úkosy: pro buchary a lisy bez vyhazovače	7°	10°
Lisy s vyhazovačem	$2^\circ \div 3^\circ$	$3^\circ \div 5^\circ$
Vodorovné kovací stroje	$0^\circ \div 5^\circ$	$0^\circ \div 5^\circ$

2.5.6 Tolerance zápustkových výkovků [8]

Pro většinu zápustkových výkovků z oceli se velikosti mezních úchylek rozměrů a tvaru stanovují podle normy ČSN 42 9030. Mezi rozměry výkovku řadíme jeho délku, šířku, výšku, tloušťku nebo průměr. Úchylkou od tvaru výkovku je změna zaoblení rohů a hran. Do úchylek od tvaru dále patří vznik jehel na sřížných plochách, nesouosost hlubokých otvorů, deformace netvářené části výkovku a ustřižených konců, prohlubeniny povrchu a důsledku ulpěných okují, úchylky kruhovitosti či rovnoběžnosti.

Mezní úchylky a tolerance výkovků se stanoví podle stupně přesnosti výkovku z největších rozměrů výkovku ve směru kolmo k rázu a ve směru rovnoběžném k rázu. U nerotačních tvarů je největší rozměr výrobku ve směru kolmo k rázu definován střední hodnotou součtu největší šířky a délky výkovku. Mezní úchylky a tolerance největšího průměru výkovku D nebo $0,5 (L + B)$ ve směru kolmo k rázu a dané výšky se v rozmezí $1\ 000 \div 1\ 600$ mm zvyšují o 25 % a v rozmezí $1\ 600 \div 2\ 500$ mm o 50% oproti rozměrům v rozmezí $630 \div 1\ 000$ mm.

Přesnost zápustkového kování ovlivňují především tyto hlavní vlivy:

➤ nepřesnost výroby zápustek:

Přesnost výroby zápustek je dána převážně složitostí tvaru výkovku.

➤ vliv ohřevu materiálu:

Rozměry kovací dutiny zápustek jsou voleny s ohledem na roztažnost tvářeného materiálu za tepla. Zvětšení rozměrů výkovků po ohřevu lze stanovit podle vzorce:

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot (t_1 - t_0) \quad (\text{mm})$$

Je-li dokovací teplota přibližně $900\text{ }^{\circ}\text{C}$, zmenší se rozměry výkovku po zchladnutí u středně uhlíkových a nízkouhlíkových ocelí asi o 1% a u austenitických ocelí asi o 1,6%. O tuto hodnotu musíme rovněž zvětšit rozměry dutiny zápustky.

➤ změny tvaru dutiny zápustky opotřebením nebo její deformací:

Jedna z největších příčin nepřesnosti rozměrů zápustkových výkovků jsou změny tvaru dutiny zápustky během tvářecího pochodu. Největší opotřebení zápustky je v místě největšího přesunu kovu. Nejčastěji se zápustky opotřebovávají v přechodech dutiny do výronku, u hran v místech přechodů žeber do výstupků. Opotřebení zápustek roste s členitostí a složitostí tvaru výkovku. Vhodným způsobem mazání dutin zápustek se může opotřebení značně snížit.

➤ ostatní vlivy:

Mezi další vlivy, které působí na přesnost rozměrů zápustkových výkovků, se dají zařadit rozměry polotovaru, dalším důležitým činitelem je druh a přesnost tvářecího stroje. U bucharů a vřetenových lisů působí špatné vedení beranu hlavně na přesazení výkovku, u mechanických kovací lisů pak přesnost výroby ovlivňuje tuhost stojanu.

2.6 Hlavní zásady pro volbu dělicí roviny [1], [2]

Uvedené hodnoty zaoblení hran i tloušťek stěny byly mimo jiné závislé na hloubce dutiny výšce žebra). Volbou polohy dělicí roviny zápustky ovlivňujeme. Při konstrukci výkovku a určení dělicí roviny musí brát na zřetel určitá pravidla. U složitějších výkovků je nutno se řídit předchozími zkušenostmi. V zásadě je však možno určit 4 základní pravidla, podle kterých by se poloha dělicí roviny měla volit.

1. Dělicí plocha by měla pokud možno dělit výkovek ve všech částech na dvě symetrické poloviny. Tím se dosáhne nejen menší spotřeby materiálu, ale i lepší kvality stříhu po odstřižení výronku.
2. Z hlediska konstrukce nástroje je výhodnější rovina dělicí plocha, neboť umožňuje volit nejmenší výšku bloku a usnadňuje opracování vnitřního i vnějšího tvaru zápustky.
3. Dělicí plocha má usnadňovat tok materiálu. V mnoha případech je však vhodnější lomená dělicí plocha než rovinná. Tak např. při kování slabostěnných výkovků s U - profilem je výhodnější, když materiál vyplňuje dutinu jedním směrem. V tomto případě je vhodné, pokud vnitřní dělicí rovina zápustky je vůči vnější přesazena, aby se ztižilo boční vytékání materiálu do výronku.
4. Dělicí plocha by se měla volit tak, aby plochy, které se budou obrábět, ležely pokud možno kolmo ke směru tváření, což znamená, že nemají mít boční úkos.

S výjimkou jednoduchých výkovků nelze vždy splnit všechny tyto požadavky. Pak je nutno případ po případu se rozhodnout, kterému pravidlu máme dát přednost. Často se např. dává přednost pravidlu 2 před pravidlem 1, neboť tím dosáhneme jednoduššího dělení.

Lomené dělicí roviny, s výjimkou rotačních tvarů, znamenají vznik velkých bočních sil, které mohou způsobit posunutí zápustek vůči sobě a tím vznik přesazení. K vyrovnání těchto sil je nutno buď používat tzv. zámek nebo kovat více kusů proti sobě, případně změnit polohu součásti.

2.7 Rozdělení zápustkových výkovků do tříd [16]

Tvarový druh – první číslice v číselném označení výkovku

X x x x – x

- 4.... výkovky kruhového průřezu plné
- 5.... výkovky kruhového průřezu duté
- 6.... výkovky hranolovitých tvarů plné i duté
- 7.... výkovky kombinovaných tvarů plné i duté
- 8.... výkovky s ohnutou osou
- 9.... výkovky složitých tvarů s přímou dělicí plochou
- 0.... výkovky s lomenou dělicí plochou

Tvarová třída – druhá číslice v číselném označení výkovku

$$(x \text{ X } x \text{ x} - x)$$

Výkovky tvarového druhu 4, 5, 6, 7 a 8 se dále rozdělují do tvarových tříd:

$$x \text{ X } x \text{ x} - x$$

- 1.....konstantní průřez
- 2.....kuželovité (jehlanovité, klínovité)
- 3.....jednostranně osazené
- 4.....oboustranně osazené
- 5.....osazené s kuzelem (jehlanem, klínem)
- 6.....prosazené
- 7.....kombinované
- 8.....kombinované s kuzelem (jehlanem, klínem)
- 9.....členité (u tvarového druhu 8 – výkovky háků)
- 0.....neobsazeno

Výkovky zařazené podle tvarového druhu 9 a 0 se dále rozdělují do tvarových tříd:

$$x \text{ X } x \text{ x} - x$$

- 0převážně kruhový průřez
- 1převážně plochý průřez
- 2s hlavou a jedním ramenem
- 3s hlavou a více rameny
- 4jednostranně rozvidlené
- 5oboustranně rozvidlené
- 6zalomené
- 7šroubovité (stoupání < 1) – pouze u tvarového druhu 0
- 8šroubovité (stoupání < 1) – pouze u tvarového druhu 0

Tvarová skupina – třetí číslice v číselném označení výkovku

$$x \text{ x } \text{X} \text{ x} - x$$

U výkovků zařazených do jednotlivých tvarových tříd jsou čísla 1 až 8 dále tříděny výkovky podle štíhlostních a jiných dále uvedených poměr. Výkovky druhu 4, 6 a 7 s dělicí plochou ve směru hlavní osy (technologické hledisko 1, 2) jsou zásadně děleny na výkovky bez otvoru (označené čísla 1 až 4) a na výkovky s otvorem (označené čísla 5 až 8). Výkovky s dělicí plochou kolmo na hlavní osu (technologické hledisko 3, 4, 5) a výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech (technologické hledisko 6, 7, 8) jsou zásadně děleny na výkovky plné (označené čísla 1 až 4) a na výkovky duté (označené čísla 5 až 8).

Jinak se výkovky rozdělují na výkovky nízké a vysoké nebo na výkovky krátké a dlouhé. Dále se třídí výkovky podle vzájemných poměrů výšek, průměrů, šířek, velikosti úhlu ohybu nebo počtem ohybů, velikostí rozvidlení, počtu zalomení, úhlu polohy jednotlivých ramen zalomených hřídelů a velikosti úhlu natočení listů lopatek.

Tvarová podskupina – čtvrtá číslice v číselném označení výkovku ($x\ x\ x\ \mathbf{X} - x$)

Zápustkové výkovky, které přesahují stanovený maximální poměr dvou na sobě závislých veličin, se označují podle jednotlivých vzájemných poměrů čísly 1 až 9. Zápustkové výkovky, které nepřesahují stanovený maximální poměr dvou na sobě závislých veličin, se označují číslem 0.

$x\ x\ x\ \mathbf{X} - x$

- 1 přesah v poměru $L : B$ (D) nebo $H : B$ (D)
- 2 přesah v poměru $H : H$ (D : D)
- 3 přesah v poměru $B : B$
- 4 přesah v poměru $F : F$
- 5 přesah v hloubce dutiny $h : d$ nebo úhlu listů lopatek
- 6 přesah v tloušťce dna nebo blány H
- 7 přesah v tloušťce stěny s nebo velikosti rozvidlení $l : b$
- 8 přesah v zaoblení přechodů a hran R, r
- 9 kombinace několika přesahů
- 0 bez přesahu

Technologické hledisko – pátá číslice v číselném označení výkovku

$x\ x\ x\ x - \mathbf{X}$

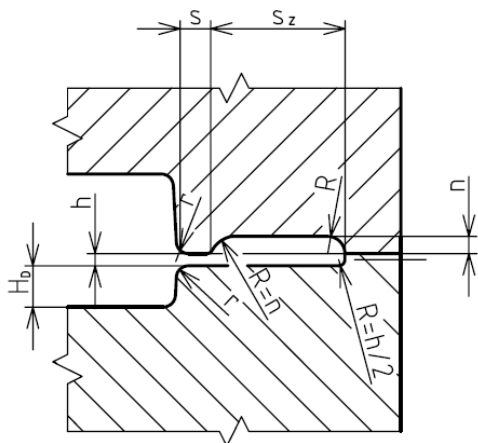
- 1 výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy
s o u m ě r n ě
- 2 výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy
n e s o u m ě r n ě
- 3 výkovky s dělicí plochou kolmo na hlavní osu
s o u m ě r n ě
- 4 výkovky s dělicí plochou kolmo na hlavní osu
n e s o u m ě r n ě
- 5 výkovky s dělicí plochou kolmo na hlavní osu
s o z u b e n í m
- 6 výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech
s o u m ě r n ě
- 7 výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech
n e s o u m ě r n ě
- 8 ... výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech
s o z u b e n í m
- 9 ... výkovky s více dělicími plochami
- 0 ... neobsazeno

2.8 Výronková drážka a určení jejich rozměrů [2], [4], [8], [10], [11]

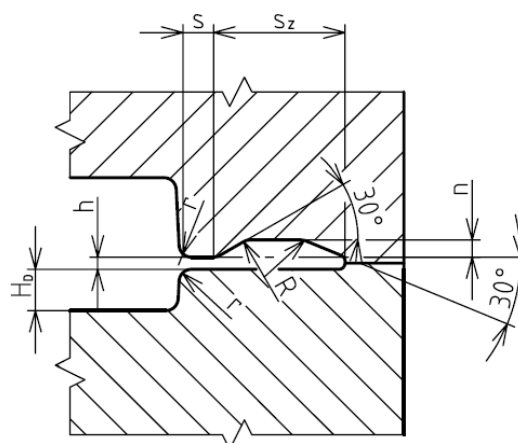
2.8.1 Výronková drážka pro buchar [10]

Výronková drážka pro buchar je určena rozměry můstku s a zásobníku s_z . Dále svým tvarem, jednotlivé typy nejčastěji používaných výronkových drážek jsou vyobrazeny na obr. 6 ÷ 8. Typy I. a II. vyobrazené na obr. 6 a 7 se používají nejčastěji pro všechny obvyklé tvary zápusťových výkovků. Typ III. vyobrazený na obr. 8 se používá pro složité výkovky, kde se předpokládá větší přebytek materiálu. Zásobník na obr. 6 se obvykle umísťuje v horním díle zápusťky. Z technologických důvodů je možno umístit jej i ve spodním díle zápusťky.

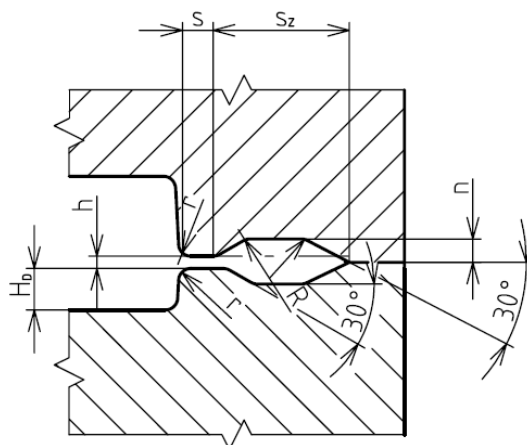
Můstek je hlavním regulátorem měrného tlaku v dutině zápusťky. Čím je výkovek tvarově složitější a členitější, tím je nutno volit menší výšku můstku h a nebo větší poměr délky ku šířce můstku s/h , rovněž lze místně zvětšit šířku můstku s . Zásobník slouží k pohlcení přebytečného množství materiálu. U bucharu je dutina zásobníku uzavřená, což je hlavní rozdíl oproti výronkové drážce pro lis.



Obr. 6 Výronková drážka – typ I.
Obvyklý. [10]



Obr. 7 Výronková drážka – typ II.
Obvyklý. [10]



Obr. 8 Výronková drážka – typ III.
Pro složité výkovky s přebytkem materiálu. [10]

Výšku můstku **h** lze určit podle rovnice:

$$h = (0,015 \div 0,012) \cdot \sqrt{F_{\text{výr}}} \quad (\text{mm})$$

Pro výkovky větších rozměrů se volí hodnota 0,012, naopak pro malé výkovky se volí hodnota 0,015. Další potřebné rozměry výronkové drážky lze nalézt v tab. 5. Tyto hodnoty jsou závislé na výšce můstku **h** a na převažujícím způsobu tečení materiálu v dutině zápustky.

Tab. 5. Hodnoty výronkové drážky pro buchar [10]

h (mm)	n (mm)	PĚCHOVÁNÍ				ROZŠÍŘOVÁNÍ				VYTLAČOVÁNÍ			
		s (mm)	$\frac{s}{h}$	b _z (mm)	F' _{výr} (cm ²)	s (mm)	$\frac{s}{h}$	b _z (mm)	F' _{výr} (cm ²)	s (mm)	$\frac{s}{h}$	b _z (mm)	F' _{výr} (cm ²)
0,6	3	6	10	18	0,52	6	10	20	0,61	8	13,4	22	0,74
0,8	3	6	7,5	20	0,69	7	8,8	22	0,77	9	11,2	25	0,88
1,0	3	7	7	22	0,80	8	8	25	0,91	10	10	28	1,04
1,6	3,5	8	5	22	1,02	9	5,6	25	1,13	11	6,9	30	1,55
2,0	4	9	4,5	25	1,36	10	5	28	1,53	12	6	32	1,77
3,0	5	10	3,3	28	2,01	12	4	32	2,33	14	4,7	38	2,78
4,0	6	11	2,8	30	2,68	14	3,5	38	3,44	16	4	42	3,85
5,0	7	12	2,4	32	3,43	15	3	40	4,34	18	3,6	46	5,06
6,0	8	13	2,2	35	4,35	16	2,7	42	5,30	20	3,3	50	6,42
8,0	10	14	1,7	38	6,01	18	2,2	46	7,45	22	2,7	55	9,03
10,0	12	15	1,5	40	7,68	20	2	50	9,88	25	2,5	60	12,08

Poloměr zaoblení **r** přechodu tvaru do dělicí plochy se určí z rovnice:

$$r = \sqrt{\frac{F_v}{200}} + 0,04 \cdot H_D \quad (\text{mm})$$

r nesmí přesahovat hodnoty **r_{max}** dané následující tabulkou 6.

Tab. 6 [10]

Dvojčinné buchary hmotnost beranu v kg	Protiběžné buchary práce v MJ	r_{max}
< 2 000	< 98	3
2 000 ÷ 5 000	98 ÷ 196	4
> 5 000	196 ÷ 343	5
	> 343	6

V praxi se hodnoty výšky můstku výronkové drážky **h** vypočtené dle ČSN 22 8308 osvědčují pouze pro kování složitějších výkovků. Pro kování jednoduchých a středně složitých výkovků se osvědčují nižší poměry **s/h**, čili větší hodnota **h**. V tomto případě lze volit geometrii výronkové drážky podle nomogramu. V tomto případě se vychází z hmotnosti

výkovku. Z hmotnosti výkovku a jeho tvarové složitosti, rovněž vychází analyticky odvozené rovnice pro rotační výkovky:

$$h = -0,09 + 2 \cdot \sqrt[3]{G_v} - 0,01 \cdot G_v$$

$$\frac{s}{h} = -0,02 + 0,0038 \cdot s - \frac{D_o}{s} + \frac{4,93}{G_v^{0,2}}$$

Při stanovení materiálu připadajícího na výronek, je rozhodující velikost zásobníku a stupeň jeho zaplnění. Hlavní rozměry zásobníku jsou patrné z obr. 6. a tab. 5, kde $F'_{výr}$ značí celkovou plochu příčného řezu výronkovou drážkou v cm^2 . Součinitel zaplnění výronkové drážky lze v prvním přiblížení volit 0,7. Pro přesnější určení slouží tab. 7.

Tab. 7. Koeficienty zaplnění výronkové drážky [10]

Skupina výkovků	Hmotnost (kg)	Součinitel zaplnění výronkové drážky		
		kov teče pýchováním	rozšiřováním (vtlačováním)	protlačováním
Výkovky podélného tvaru kované kolmo na úkor výšky a šířky, podél délky neteče.	< 1	0,4	0,5	0,6
	1 ÷ 5	0,5	0,6	0,7
	> 5	0,6	0,7	0,8
Výkovky čtvercového kruhového průřezu, kované na stojato, dochází k osazování pýchování, vytlačování a probíjení	< 1	0,3	0,4	0,5
	1 ÷ 5	0,4	0,5	0,6
	> 5	0,5	0,6	0,7

Pro přibližné určení množství materiálu připadajícího na výronek pro rotační výkovky kované na stojato se užívá vzorce:

$$V_{výr} = 1,6 \cdot F'_{výr} \cdot [O_v + 0,7 \cdot (b + b_z)] \quad (\text{mm}^3)$$

Pro výkovky podlouhlého tvaru, kované na ležato, pokud mají jednoduchý obrys, platí vzorec:

$$V_{výr} = 0,7 \cdot F'_{výr} \cdot [O_v + 4 \cdot (b + b_z)] \quad (\text{mm}^3)$$

a pokud mají složitý členitý obrys:

$$V_{výr} = 0,7 \cdot F'_{výr} \cdot [O_v + 6 \cdot (b + b_z)] \quad (\text{mm}^3)$$

Konečné stanovení hmotnosti výronku je dáno kovací zkouškou, kdy se ověří nejen zvolená hmotnost polotovaru ale i jeho rozměry a tvar.

2.8.2 Výronková drážka pro svislý kovací lis [11]

Při kování na klikových mechanických lisech na sebe zápustky nesmí dosednout, protože vzdálenost mezi zápustkami v dolní úvratí vytváří výšku můstku **h**. Do bloku zápustky se pouze vypracovává vybrání pro zásobník, tím pádem je dutina zápustky otevřená.

Tvary používaných výronkových drážek jsou vyobrazeny na obr. 9 ÷ 11. Typ I. vyobrazený na obr. 9 se používá nejčastěji, typ II. vyobrazený na obr. 10 se používá v případě velké vzdálenosti dutiny od okraje zápustky. Typ III. vyobrazený na obr. 11 se používá při velkém přebytku materiálu. Při kalibrování za tepla se vybrání do zásobníků neprovádí a výronek je tvořen pouze mezerou mezi dělicími plochami.

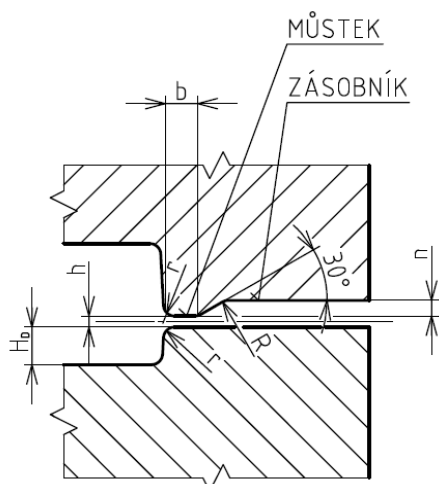
V tab. 8 jsou uvedeny rozměry výronkové drážky podle normy ČSN 22 8306 v závislosti na maximální síle lisu.

Tab. 8 Rozměry výronkových drážek [11]

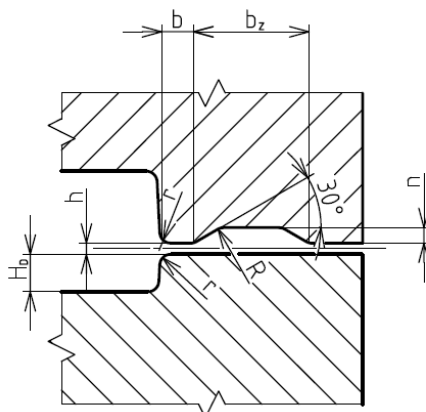
Síla lisu (kN)	H (mm)	b (mm)	b _z (mm)	r (mm)
2 000	1 ÷ 1,5	3 ÷ 5	25	1 ÷ 1,5
6 300	1 ÷ 2	3 ÷ 7	25	
10 000	1,5 ÷ 2,5	4 ÷ 7,5	30	
16 000	2 ÷ 3	5 ÷ 8	32	1,5 ÷ 2,5
25 000	2,5 ÷ 4	6 ÷ 10	38	
31 500	2,5 ÷ 4,5	6 ÷ 11	40	2 ÷ 3
40 000	3,5 ÷ 5,5	7 ÷ 12	42	
63 000	4,5 ÷ 8	9 ÷ 15	50	2 ÷ 5

Můstek je hlavní regulátor tlaku v dutině zápustky. Čím jsou výkovky tvarově členitější, tím vyžadují vyšší tlaky, a tím pádem menší výšku výronku **h** a širší můstek **b**. Pro zvýšení brzdícího účinku můstku, lze můstek opatřit brzdícími drážkami, a z technologických důvodů může být rozšířen pouze místně. Pro jednoduché výkovky se používají vyšší hodnoty výšky výronku **h**, ovšem s přihlédnutím ke konečnému ostřížení výronku, musí být zaručena optimální kvalita stříhu.

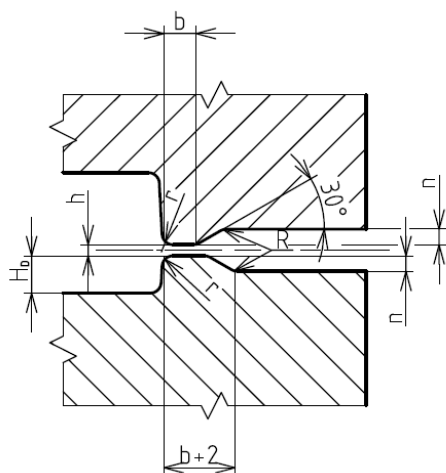
Požívané typy výronkových drážek podle ČSN 22 8306.



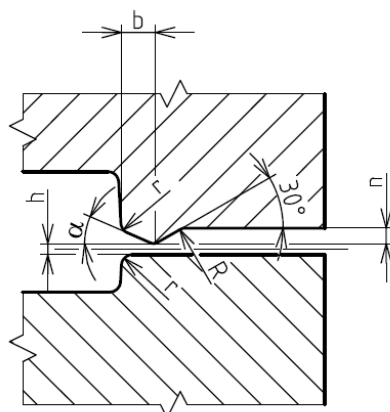
Obr. 9 Typ I. Obvyklý [11]



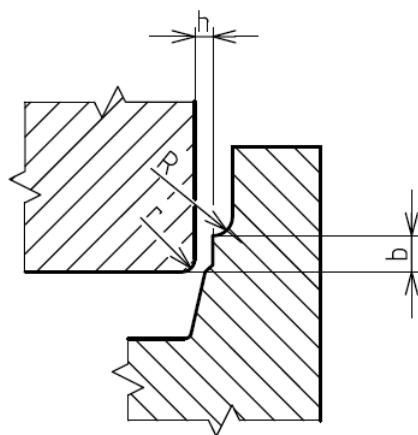
Obr. 10 Typ II. Používaný při velké vzdálenosti dutiny od kraje zápusky [11]



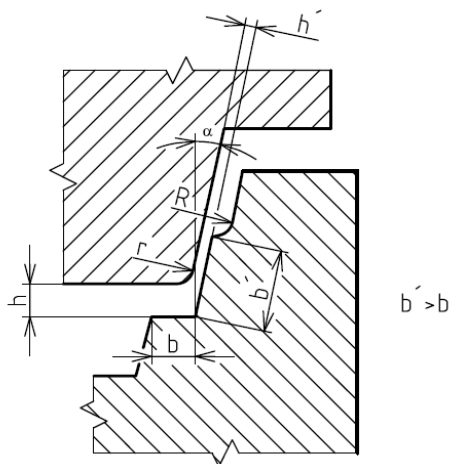
Obr. 11 Typ III. Používaný při velkém přebytku materiálu [11]



Obr. 12 Typ IV. Klínový výronek [11]



Obr. 13 Typ V. Axiální výronek [11]



Obr. 14 Typ VI. Radiaxiální výronek [11]

Hloubku zásobníku n lze stanovit z rovnice:

$$n = 0,4 \cdot b + 2 \quad (\text{mm})$$

Hodnota zaoblení přechodu tvaru do dělicí plochy r je dána stejnou rovnicí jako u výronku pro bucharové zápustky. Maximální hodnoty r jsou v tab. 8 uvedeny.

Objem výronkové drážky $V_{\text{výr}}$ lze stanovit z rovnice:

$$V_{\text{výr}} = o \cdot \left[b \cdot h + \left(n + \frac{h}{2} \right) \cdot B \right] \quad (\text{mm}^3)$$

U tvarově složitých výkovků, kdy se výronek zčásti již vytváří při kování v přípravných dutinách, se hodnota B zdvojnásobuje.

2.9 Způsoby vedení zápustek [10], [11]

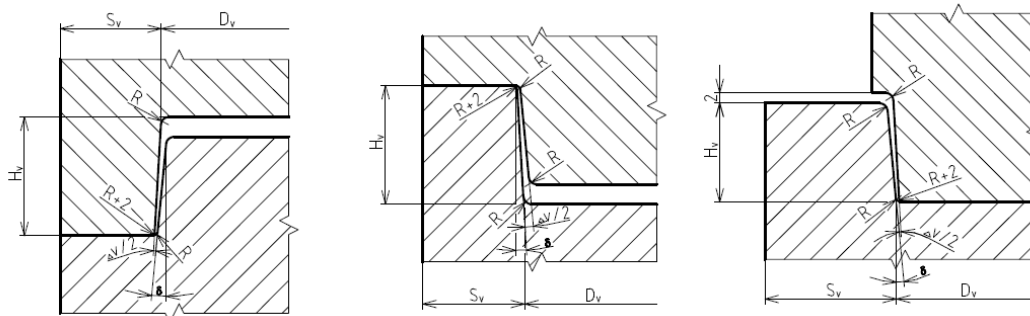
2.9.1 Vedení zápustek u bucharů [10]

Vedení zápustek se provádí zpravidla pouze u jednodutinových zápustek, kde vedení stroje nezaručuje zhotovení výkovku v požadované přesnosti. U postupových zápustek se vedení zápustek neprovádí, neboť vodící kolíky by znemožnily rovnoměrné rozložení dutin, a způsob vedení beranu u bucharů pro postupové kování to nevyžaduje.

Používané druhy vedení zápustek u bucharů:

- kruhové,
- podélné a příčné,
- zámky pro zachycení posouvajících sil,
- vodící kolíky.

Kruhové (obvodové) vedení se používá u kruhových nebo čtvercových zápustek pro rotační tvary výkovků. Tvar a rozměry vedení jsou znázorněny na obr. 15. Výška vedení H_v závisí na tvaru výkovku a velikosti bucharu. Pokud je vedení umístěné ve spodním dílu zápustky, je v tomto dílu zápustky nutné zhotovit vybrání pro manipulaci s výkovkem.



Obr. 15 Kruhové vedení [10]

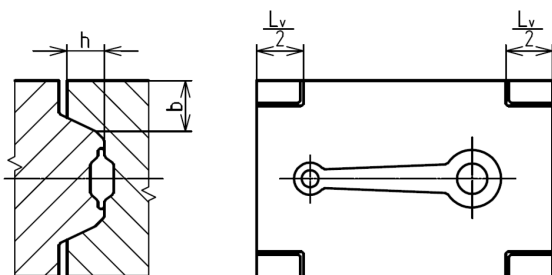
Vůle a výrobní tolerance se volí podle tab. 9.

Tab. 9. Nejmenší hodnoty jednotlivých rozměrů vedení a doporučené vůle a tolerance [10]
(rozměry v mm)

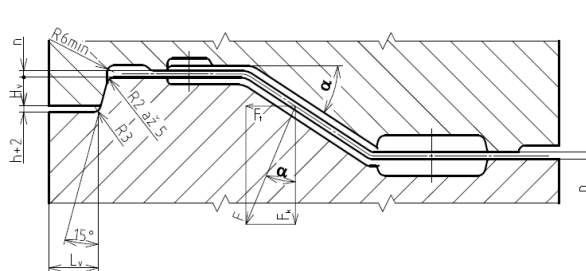
Průměr D		L _v	H _v	v	výrobní tolerance
přes	do				
	100	20	20	0,2	+0,1
100	160	25	20	0,2	+0,2
160	200	28	20	0,2	+0,2
200	250	28	20	0,3	+0,2
250	320	33	25	0,4	+0,3
320	400	36	25	0,4	+0,3
400	500	41	30	0,5	+0,4
500		50	35	0,6	+0,4

Příčné vedení je možno použít u podélných zápustek. Toto vedení slouží k vymezení příčného přesahu. **Podélné vedení** se využívá pro vymezení podélného přesahu.

Křížové vedení se používá pro vymezení přesazení v příčném i podélném směru. Tento způsob vedení se používá, zejména pro velkou pracnost a značnou spotřebu zápustkového materiálu. Šířka vedení **b** má být 1,5 násobkem výšky vedení **h**. Příklad křížového vedení je na obr. 16. Vůle a výrobní tolerance se volí dle tab. 9, kde místo průměru osazené části zápustky D_v, vycházíme ze šířky B_v nebo délky L_v osazené části zápustky.



Obr. 16 Křížové vedení [10]



Obr. 17 Vedení u zápustek s lomenou dělicí plochou [10]

Zámek se používá u zápustek s lomenou dělicí plochou za účelem eliminace posuvných sil. Příklad a rozměry vedení u zápustek s lomenou středící plochou jsou zřejmé z obr. 17. Šikmé plochy jsou uloženy s vůlí 0,5 mm.

Vodící kolíky se používají pro eliminaci přesazení u podlouhlých zápustek. Používají se 2 ÷ 4 kolíky. Vodící kolíky jsou umístěny v rozích zápustky, aby střed dutiny ležel ve středu jejich spojnice, nebo na průsečíku spojníc.

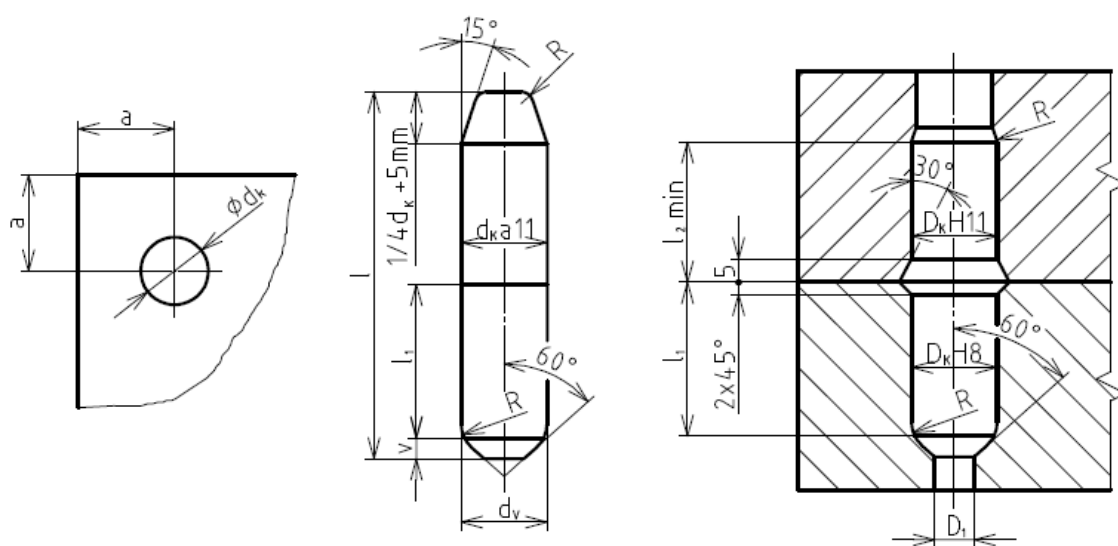
Minimální vzdálenost **a** kolíků od okraje zápustky lze stanovit podle rovnice:

$$a = \frac{5}{6} \cdot d_k + 10 \quad (\text{mm})$$

Rozměry vodících kolíků a otvorů pro vodící kolíky lze stanovit podle tab. 10 a obr. 18. Hodnoty se jmenovitými rozměry ve sloupcích II, III, IV se používají při výměně opotřebovaných kolíků.

Tab. 10 Rozměry vodicích kolíků a otvorů pro vodicí kolíky [10]
(rozměry v mm)

Kolík (otvor)						Otvor			V	R
d _k (D _k)				Přesah kolíku	l	l ₁	l ₂	D ₁		
I	II	III	IV							
12	14	16	18	0,02 ÷ 0,04	70	30	45	8	2,5	3
16	18	20	22		85	40	50	10		
20	22	25	28		90	44	55	12		
25	28	30	34	0,03 ÷ 0,05	100	45	65	16	4	5
30	32	36	38		110	50	70	20		
36	38	40	42		130	60	80	25		
40	42	45	48	140	70	80	25			
50	52	56	58	165	80	95	32			
60	63	65	68	185	90	110	40			
70	72	75	78	205	100	120	50			
80	82	85	88	225	110	130	63			
90	92	95	98	225	110	130	63			
100	105	110	115	245	120	140	70			
120	125	130	135	265	130	150	80			



Obr. 18 Vodicí kolíky [10]

2.9.2 Vedení zápustek u svislých kovacích lisů [11]

Vedení zápustek u svislých kovacích lisů je zajištěno přesným vedením smýkadla lisu vzhledem k beranu lisu a vodícími kolíky v držáku vložek. V případě kde toto vedení nedostačuje vzhledem k požadované přesnosti, lze použít kruhového vedení nebo zámků, které zachycují boční síly. Kruhové vedení je zhotoveno na horní zápustce nebo je použita nalisovaná bandáž s uložením H8/t7. Zámek se používá u zápustek s lomenou dělicí plochou za účelem eliminace posuvných sil.

2.10 Ohřívací zařízení pro zápustkové výkovky [1], [3]

Tvářený materiál je nutno před tvářecí nebo mezi jednotlivými tvářecími operacemi, ohřát na příslušnou tvářecí teplotu. Horní a dolní tvářecí teplota u běžných materiálů je stanovena patřičnou normou ČSN. Nedostatečný ohřev materiálu způsobí snížení plasticity materiálu, negativně se zvyšuje mechanické namáhání zápustky a tvářecího stroje, což se projeví na jejich životnosti.

Pro ohřev materiálu v kovárnách se využívají tyto typy pecí:

- karuselové pece,
- štěrbinové pece,
- komorové pece,
- komorové pece průchozí,
- talířové pece,
- indukční pece,
- elektrické odporové pece.

Karuselové pece

Karuselové pece řadíme mezi průchozí pece. Využívají se pro ohřev poměrně širokého sortimentu materiálu odlišného rozměrem i tvarem. Pracovní plocha je otočná a má tvar mezikruží. Pracovní prostor pece má část předehřívací, ohřívací a vyrovnávací.

Kromě rovnoměrného prohřátí materiálu umožňují karuselové pece především u každého polotovaru opakovatelnost ohřevu. Nevýhodou je poměrně velký zastavěný prostor a to půdorysně nepříznivý (kruhový).

Talířové pece

Talířové pece jsou druhem pecí karuselových. Mají průběžný charakter, i když se ohříváný materiál pohybuje stále ve stejném pracovním prostoru. Teplota je v celém prostoru stejná a odpovídá teplotě kování. Teplota odcházejících spalin musí být stejná nebo vyšší než teplota ohřátého výkovku. Výhodou pecí je jejich cyklický chod a umožňují rovnoměrné rozložení materiálu. Nevýhodou je větší spotřeba tepla, neboť se nevyužívá tepla odcházejících spalin.

Pece strkací

Patří do skupiny pecí průchozích. Jsou nejvhodnější pro ohřev pro zápustkové kování ve větších sériích. Pracovní prostor strkacích pecí se skládá z části předehřívací a ohřívací. S délkou pracovního prostoru se zvětšuje i stálost teploty v ohřívacím pásmu. Výhodou strkacích pecí je pravidelnost dodávky ohříváného materiálu a využívání spalin k přímému předehřátí materiálu (tj. lepší využití tepla).

Pece komorové

Komorových pecí je mnoho typů. Liší se konstrukcí, provedením, tvarem pracovního prostoru a počtem pracovních dveří. Rozložení hořáků a odtahů má vliv na rovnoměrné prohřátí pracovního prostoru. Nevýhodou těchto pecí je nerovnoměrnost průchodu materiálu a poměrně malá tepelná účinnost. Při větší vsázce je nevýhodné kolísání teploty při zakládání studeného materiálu.

Pece štěrbinové

Štěrbínové pece se používají pro ohřev konců tyčí a trubek. Polotovary se zakládá na stůl pece a do ohřivaného prostoru zasahuje pouze krajní částí.

Rozdělení podle provedení:

- pece s uzavřenou štěrbinou,
- štěrbinové pece průchozí.

Indukční pece

Indukční ohřev splňuje důležité požadavky, které jsou na materiál v kovárnách kladeny. Především dokonalé prohřátí materiálu, přesné dodržení kovací teploty, stejnou dobu ohřevu a pro částečný ohřev konců tyčí i přesné dodržení délky ohřevu. Tepelné ztráty jsou zanedbatelné. Indukční ohřev také zmírňuje oduhličení a oxidaci materiálu. Předností indukčního ohřevu je jeho pohotovost, provozní spolehlivost, jednoduchá obsluha, zkrácená doba ohřevu a stálost teploty.

2.11 Konstrukce ideálního předkovku [2], [3]

Pro konstrukci předkovku se nejdříve stanoví tvar a velikost ideálního předkovku. Tomuto ideálnímu předkovku je nutno se co nejvíce tvarově přiblížit při výrobě. Výpočtu objemu materiálu je nutno stanovit co nejpresněji z výkresu výkovku.

Postup určení ideálního předkovku:

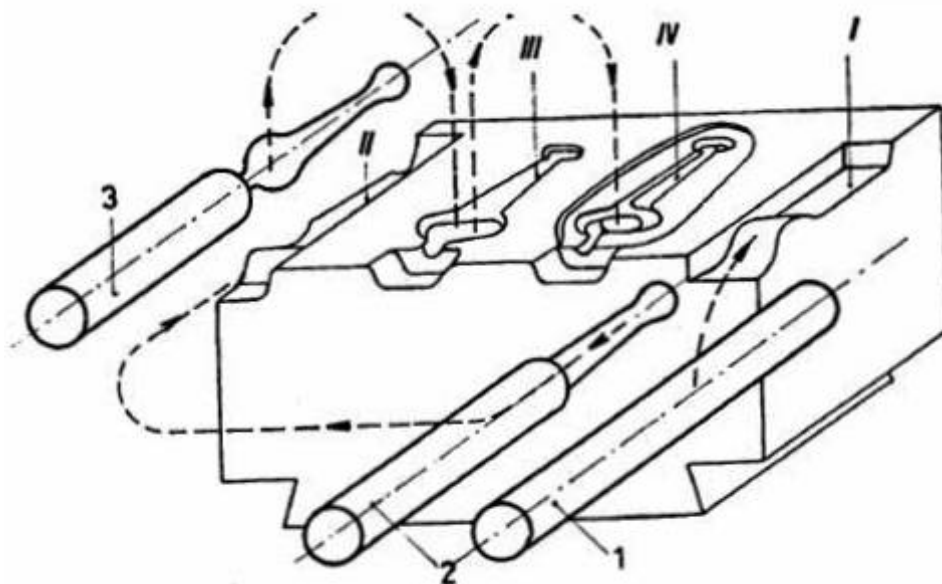
1. V charakteristických řezech se z výkresu výkovku určí obsahy těchto ploch včetně výronku a blány.
2. Plochy těchto průřezů se převedou na plochy kruhů. Průměry nebo poloměry těchto ploch se přenesou na společnou osu ve stejném měřítku. Aproximací koncových bodů získáme tvar ideálního předkovku. Maximální průměr tohoto ideálního předkovku určuje průřez výchozího polotovaru. Přesný tvar je potom určen také s ohledem na zvolenou metodu výroby předkovku

Pro výrobu předkovků pro zápustkové kování lze použít volné kování, předkovací dutiny zápustky, kování na kovacích válcích nebo příčné klínové válcování.

- **Volné kování** je ze všech metod nejpracnější a není tak produktivní.
- **Předkovací dutinky zápustky** umožňují vytvořit složitější předkovky.
- **Kování na kovacích válcích** vyžaduje speciální nástroje, je však výhodná svou produktivitou. Tato metoda je v současné době dosti používanou technologií.
- **Příčné klínové válcování** je vysoce produktivní metoda, které umožňuje výrobu rotačních součástí. Příčné klínové válcování se používá při velkosériové výrobě výkovku.

2.12 Rozdělení zápustkových dutin u postupového kování na bucharu [2]

Postupová zápustka je upnuta na zápustkovém bucharu, kde probíhá celá technologie postupového kování. Kovář kleštěmi přenáší nebo překlápí výkovek z jedné dutiny do druhé.

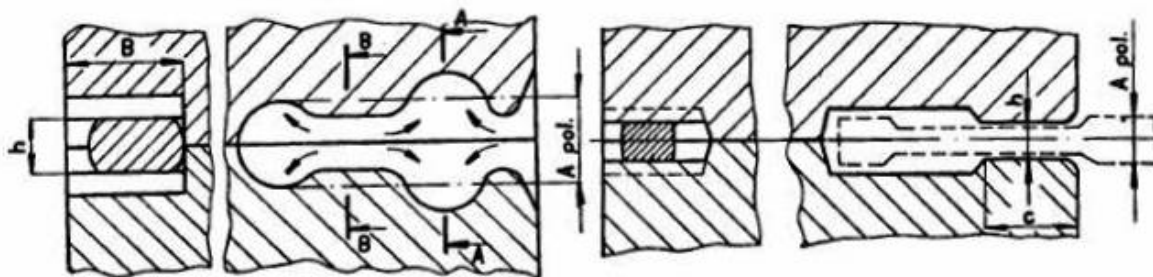


Obr. 19 Postupová zápustka při kování na bucharu [2]

Typy předkovacích dutin:

1. Dutina zužovací

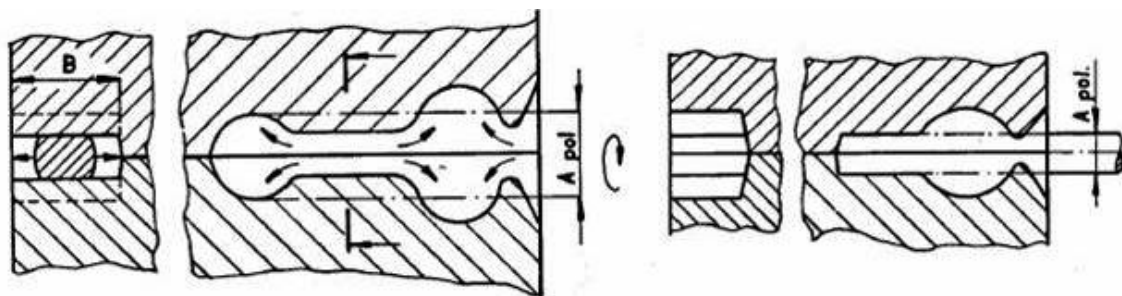
V dutině zužovací kov teče ve směru osy. Předkovek se nepatrně v jedné části redukuje a ve druhé se pěchuje. Předkovek je vykován na jeden úder, bez pootočení. Dále se klade do další dutiny.



Obr. 20 Dutina zužovací [2]

2. Dutina otevřená rozdělovací

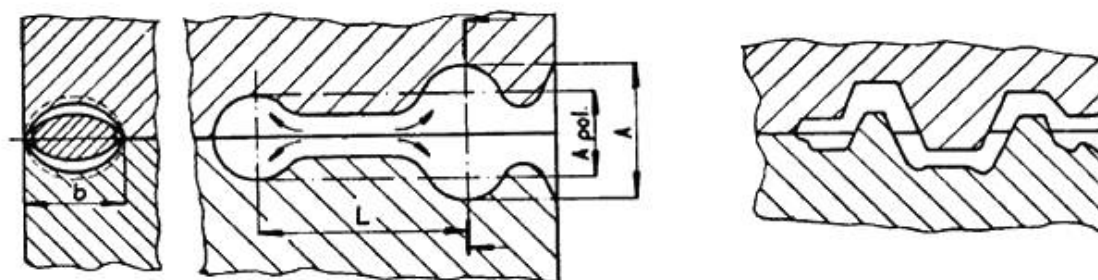
V této dutině kov teče ve směru podélné osy. Předkovek se současně napěchuje a redukuje v příčném průřezu. Předkovek je vykován na $2 \div 4$ údery s pootočením o 90° .



Obr. 21 Dutina otevřená roždělovací [2]

3. Dutina uzavřená roždělovací

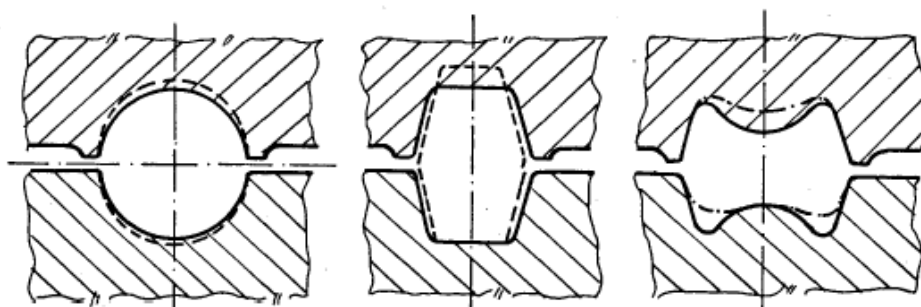
V této dutině je dosaženo nejintenzivnějšího tečení materiálu ve směru podélné osy. Předkovek se opět napěchuje a redukuje, ale s větší intenzitou než v prvních dvou případech. Proces kování je stejný jako v dutině otevřené roždělovací.



Obr. 22 Dutina uzavřená roždělovací [2]

2.13 Konstrukce předkovacích dutiny pro kování na svislých kovacích lisech [2]

V předkovací dutině se předkovek svým tvarem přibližuje tvaru dutiny dokončovací. Mezi kovací metody řadíme vytlačování, přechování nebo ohýbání. Předkovek v předkovací dutině má takový tvar, který umožňuje jednoznačné zakládání předkovku do dokončovací dutiny. Z tohoto důvodu se předkovek dělá užší a vyšší než výkovek. Na obr. 23 jsou znázorněny tvary předkovků s předkovacími dutinami pro svislý kovací lis.

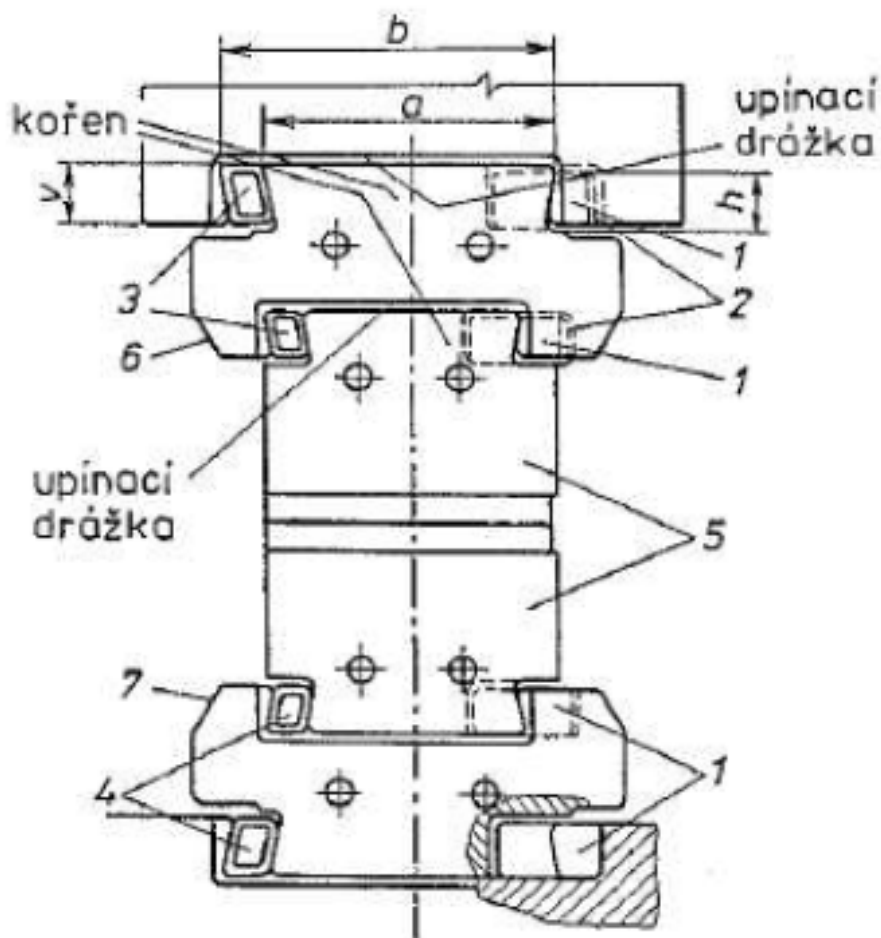


Obr. 23 Předkovací dutiny pro svislý kovací lis [2]

2.14 Upínání zápustek u bucharů [13]

Upínání zápustek na bucharích je podřízeno normám ČSN 21 1410, ČSN 21 1413 ÷ 17. Upnutí horního i spodního dílu zápustky je provedeno stejným způsobem a to pomocí rybinového kořene zápustky a upínací rybinovité drážky v beranu. Boční upevnění se provádí pomocí klínu. Proti axiálnímu posuvu je zápustka zabezpečena perem, které se vkládá do boční drážky. Drážka je vytvořena kolmo na rybinu. Odpovídající vybrání je vytvořeno i v kořeni zápustky. Klín je pak umístěn na protilehlé straně.

Příklad běžného upnutí zápustek pro padací dvojčinné buchary je podle ČSN 21 1413 na obr. 26.



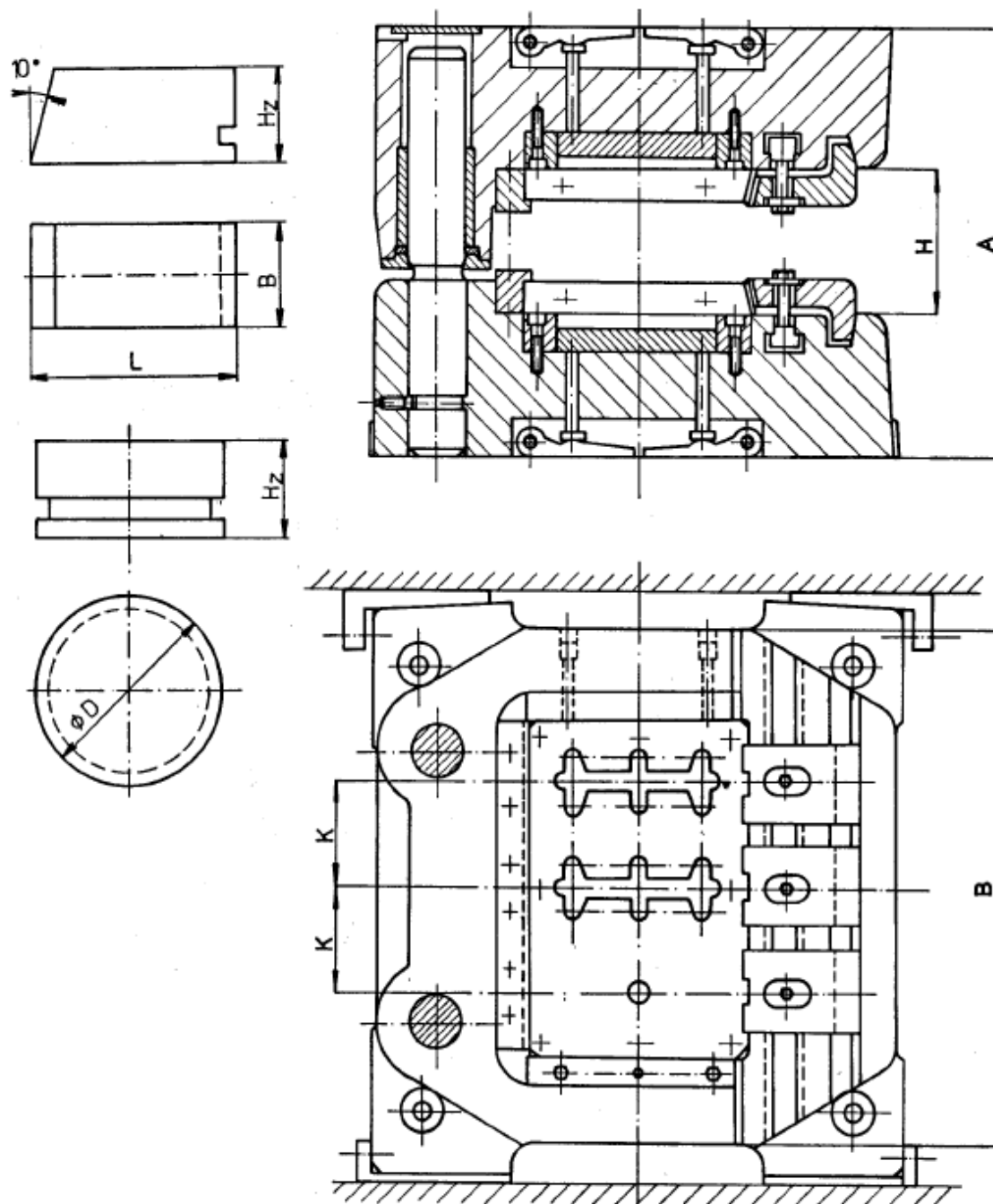
Obr. 24 Upnutí zápustek pro buchary [13]

Hlavní součásti:

- 1 – pero,
- 2 – příložka,
- 3, 4 – horní a spodní klín podle ČSN 21 1417,
- 5 – horní a spodní díl zápustky,
- 6 – kontrolní roh (roviny) podle ČSN 21 1410,
- 7 – díry pro kolíky podle ČSN 21 1416.

2.15 Upínání zápustek na svislých klikových kovacíh lisech [14]

Rozměry upínače podle velikosti lisu, viz obr. 25 a rozměry v tab. 11.



Obr. 25 Upínání zápustek na svislých kovacíh lisech [14]

Typ tvářecího stroj přímo ovlivňuje tvar výkovku, tvar dutiny zápustky i volbu materiálu zápustky a její konstrukci. Tvářecí stroj do jisté míry ovlivňuje způsob ohřevu materiálu, možnost mechanizace či automatizace, přesnost výroby a opotřebení zápustky, prašnost a hlučnost provozu, sériovost výroby, životnost zápustek a celkovou hospodárnost kování. Ve většině případů je volba stroje otázkou ekonomických podmínek než technických.

Způsob kování na mechanických klikových lisech je odlišný od kování na bucharech nebo vřetenových lisech. Buchary a vřetenové lisy pracují rázem a výkovek je zhotoven na několik úderů. Mechanický klikový lis pracuje klidným tlakem a jeho zdvih je při každé operaci stejný, zanedbává-li se odpružení. Nevýhodou při kování klidným tlakem je zakování okují vzniklých při ohřevu polotovaru na kovací teplotu. Na klikových lisech nelze provádět takové operace, kde je zapotřebí prodlužování, a proto je nutné doplnit tento stroj o nějaký předkovací stroj např. kovací válce. Kování na klikových lisech je vhodné pro velkosériovou výrobu a lze je zařadit v lince.

2.18 Volba materiálu pro kovací nástroje [2], [4]

Kovací nástroje jsou vystaveny značnému mechanickému i tepelnému namáhání. Toto namáhání lze charakterizovat následujícími vlivy:

Kovací i rázová práce se mění při styku obou polovin zápustky od nuly až do tlaku $100 \div 200 \text{ kp/mm}^2$, proto vznikají trvalé deformace dutiny zápustky a stykové plochy. Na povrchu zápustky dochází na rozhraní kluzného a přilnavého tření ke značnému smykovému namáhání. V důsledku toho vznikají smykové trhliny, které jsou orientovány kolmo ke směru namáhání. Při tečení materiálu výkovku pod tlakem podél stěny zápustky dochází k opotřebení třením. Opotřebení lze klasifikovat jako plošné nebo ve formě rýh ve směru toku materiálu.

Ve styku s ohřátým polotovarem se ohřívá povrchová vrstva materiálu zápustky. Toto ohřátí závisí na kovací teplotě a na době styku materiálu se zápustkou. V důsledku následujícího ochlazení povrchu (zejména při chlazení vodou) vzniká smrštění materiálu. Tato střídavá napětí mohou překročit mez pevnosti při tečení a dojde ke vzniku tepelných trhlin ve formě sítě.

Od materiálu určeného k výrobě zápustkových výkovků se požadují tyto vlastnosti:

- vysoká tvrdost, houževnatost, dobrou tvarovou stálost, vysokou mez kluzu a tažnost,
- vysoká žáruvzdornost a žárupevnost za tepla (až 650°C),
- vysoká oteruvzdornost,
- vysoká odolnost proti rychlým změnám teploty.

Kromě toho při výrobě zápustek jsou požadovány ještě další vlastnosti:

- dobrá obrobitelnost,
- jednoduché tepelné zpracování a necitlivost proti vzniku trhlin při kalení.

Při volbě materiálu zápustky je vhodné se řídit následujícími hledisky:

- **Materiál výkovku** – pro nelegované a legované oceli o nízké přetvárné pevnosti stačí zápustkový materiál měkčí a s menší odolností proti opotřebení než pro žárupevné slitiny.
- **Způsob kování** – při kování na bucharech jsou zápustky namáhány především mechanickými rázy, Zápustky pro kování na lisech a vodorovných kovacích strojích především tepelně.

- **Velikost výrobní dávky** – pro velké výrobní množství je zapotřebí vysoké životnosti nástroje při zachování rozměrů. To znamená tedy ocel zušlechťenou na vyšší pevnost s velkou odolností proti opotřebení i proti únavě.
- **Tvar dutiny** – pro ploché dutiny lze použít materiály křehčí o vyšší tvrdosti, pro hluboké a tvarové dutiny je nutno užít materiál zvláště houževnatý a zušlechťený v celém průřezu.

Z ekonomického hlediska je volba ovlivňována především cenou použitého materiálu a životností zápusťky. Nejlepší je ocel, která pro danou sérii vydrží a bude nejlevnější.

2.19 Mazání zápusťek [2], [4]

Mazání zápusťek má velký význam u zápusťkového kování. Mazivo chrání zápusťku před opotřebením, chladí ji, zmenšuje tření mezi zápusťkou a výkovkem, odděluje povrch zápusťky a výkovku, zamezuje ulpívání okují v zápusťce a zlepšuje tok tvářeného materiálu. Tuto úlohu může splnit mazivo s dobrou mazivostí a s velkou únosností mazacího filmu, pro kování s ohřevem, při němž se dosahuje teplot nástroje $180 \div 320$ °C, jsou samotné oleje jako maziva nevhodné, a to nejen pro nedostatečnou odolnost proti tlaku, ale i pro odparnost a možnost rozkladu při vysokých teplotách. Slouží proto spíše jako nosiče tuhých maziv. Vedle nich mohou být přítomna i mýdla, např. hlinitá, nebo mastné látky (lůj, tuk z ovčí vlny, elain apod.).

Maziva používaná při zápusťkovém kování rozdělujeme:

- 1) Tuhá maziva:
 - dispergovaná ve vodě,
 - dispergovaná v oleji.
- 2) Kapalinná maziva:
 - minerální a organické oleje,
 - emulgační oleje,
 - syntetické látky.
- 3) Konzistentní maziva- mazlavá mýdla a mazací tuky.
- 4) Piliny.
- 5) Soli.
- 6) Sklo.

2.21 Předehřev zápusťek [1], [2], [4]

Vysokolegované, zejména wolframové nástrojové oceli mají po tepelném zpracování poměrně nízkou houževnatost. Je proto nutné zápusťky před kováním rovnoměrně předehřát na $200 \div 300$ °C. Požadavek předehřevu u zápusťek je velmi důležitý, především u zápusťek tvarově členitých. Při nedodržení patřičného předehřevu zápusťky praskají.

Předehřev je nutné provést před započítím práce nebo z provozu, jestliže se nepracuje dostatečně intenzivně.

Zápusťky se předehřívají několika způsoby. Nejpoužívanější ale málo vhodný způsob předehřevu je pomocí ohřátého ocelového bloku nebo desky. Zápusťka se ohřívá přímo na kovací stroji. Vzhledem k manipulaci se zápusťkou je to výhoda, ale nevýhodou je nerovnoměrný, lokální ohřev, který zvyšuje nebezpečí vyhřátí povrchových vrstev zápusťky na vyšší teploty s možností poklesu pevnosti v dělicí rovině. Je třeba kontrolovat buď dobu

styku bloku se zápustkou, nebo měřit teploty zápustky termokřídami, či bezdotykovými měřicími přístroji.

Prudký nebo místní ohřev zápustky velkým plynovým hořákem je rovněž nevhodný. Zvyšuje ještě více možnost prasknutí zápustky (zejména u vysokolegované oceli).

Lepšího způsobu předeřevu zápustky je možno dosáhnout ohřevem na pískovém roštu, který je vyhříván plynovými hořáky. Nevýhodou je podobně jako u dalšího způsobu předeřevu, že zápustka je vyjmuta z kovacího stroje a musí se seřizovat ohřátá, což ztěžuje manipulaci.

U zápustek, které je nutno přihřívát během provozu, je účelné použít věncovitých plynových hořáků, upravených podle zápustky. Ohřev zápustek na teploty vyšší než 300 °C není účelný ani hospodárný. Maximální houževnatosti ocelí pro práci za tepla se dosahuje při 200 ÷ 300 °C. Při teplotách vyšších než 300 °C se houževnatost nezvyšuje, neboť dochází k určitému poklesu houževnatosti.

2.21 Základní rozdělení tvářecích strojů [6]

Tvářecí stroj je uměle vytvořená dynamická soustava sloužící k realizaci úkonů technologického tvářecího procesu, vedoucího k trvalému přetvoření výchozího materiálu. Mechanismem stroje se rozumí systém pro přenos energie doplněný operačním blokem, umožňujícím ovládnutí parametrů přenášené energie. Podstatným znakem tvářecího stroje je způsob zpracování materiálu na výrobek s použitím mechanismu, který realizuje relativní pohyby mezi nástrojem a tvářeným materiálem.

Podle druhu relativního pohybu nástroje se tvářecí stroje rozdělují do dvou skupin:

- Tvářecí stroje s přímočarým relativním pohybem nástroje.
- Tvářecí stroje s rotačním nebo obecným relativním pohybem nástroje.

Se zřetelem ke značnému rozsahu oboru tvářecích strojů se budeme dále zabývat pouze tvářecími stroji s přímočarým pohybem nástroje. Energii, kterou může tvářecí stroj přeměnit ve styku nástroje s tvářeným materiálem na přetvárnou práci výrobku a některé nežádoucí formy energie (kinetickou energii, chvění, hluk a teplo), lze vyjádřit vztahem:

$$W_1 - W_2 = \frac{1}{2} m \cdot (v_1^2 - v_2^2) + (F + m \cdot g) \cdot (h_1 - h_2)$$

Podle druhu hlavní formy využití energie lze tvářecí stroje rozdělit do tří skupin:

a) Tvářecí stroje silové:

- k překonání deformačního odporu tvářeného materiálu využívají převážně **energii potenciální**, při rychlosti beranu menší než asi 0,25 m.s⁻¹ (0 ÷ 0,25 m.s⁻¹),
- typickým představitelem těchto tvářecích strojů je hydraulický lis, síla *F* na beranu konstantní a nezávislá na zdvihu beranu *h*,
- tvářecí dráha nástroje může být omezena nárazkou, aktivní a odporové síly vznikající při tváření jsou zachyceny pružným rámem nebo stojanem stroje prostřednictvím tvářeného tělesa,
- základním parametrem silového tvářecího stroje je síla **F** na beranu.

b) Tvářecí stroje energetické:

- k překonání přetvárného odporu tvářeného materiálu využívají převážně **energii kinetickou**, při rychlosti beranu větší než 5 m.s^{-1} ,
- typickým představitelem těchto tvářecích strojů je buchac (padací beran), dynamické (rázové) síly vznikající při přeměně kinetické energie na přetvárnou práci jsou zachyceny zpravidla prostřednictvím tvářeného tělesa, šabotou a základem stroje,
- v porovnání s tvářecími stroji silovými se označují tvářecí stroje energetické jako stroje s neklidným chodem,
- základním parametrem energetického tvářecího stroje je **kinetická energie**.

c) Tvářecí stroje zdvihové:

- k překonání přetvárného odporu tvářeného materiálu využívají obou základních forem energie (**energie potenciální a kinetické**),
- typickým představitelem zdvihového tvářecího stroje je klikový lis,
- tvářecí dráha je omezena dolní úvratí beranu, při zdvihu $h = 0$ může být toto omezení zdvojeno použitím uzavřeného dvoudílného nástroje (zápustky),
- klid chodu závisí na poměru kinetické a potenciální energie využité při tvářecí pochodu,
- základní parametry zdvihového tvářecího stroje jsou síla $F = \text{konst.}$ na beranu a zdvih h , podél kterého může tato síla působit.

3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ

Cílem bakalářského projektu je návrh technologie výroby zápustkového výkovku a konstrukci nástroje pro její zavedení do výroby. Zadanou součástí č.v. BP – 2008 – 001 je náboj kola (viz. zadání). Tento druh součásti lze vyrábět různými technologiemi – třískovým obráběním, zápustkovým kovááním, odléváním. Předepsané mechanické vlastnosti součásti a počty kusů $40\,000 \text{ ks.rok}^{-1}$ zvyhodňují provádět výrobu polotovaru pro tuto součást zápustkovým kovááním.

Varianty technologie tváření – kováání:

3.1 Kování na bucharech

Buchary jsou vhodné především pro kováání drobných výkovků nebo naopak výkovků o velké hmotnosti, pro kováání výkovků se značnými změnami v průřezu, pro výkovky se žebry, výstupky a slabostěnnými částmi. Stoupavost materiálu je u bucharů lepší než u lisů. Přitom složitější a vyšší části výkovku dáváme do horní poloviny zápustky, neboť vrchní část výkovku se méně ochlazuje. Při kováání na se rovněž snadněji odstraňují okuje z polotovaru počátečním napěchováním. Celý technologický postup kováání se skládá z několika operací: předkování, kováání, ostřížení výronku nebo blány a případné rovnání nebo kalibrování.

Předkování se provádí buď volným kovááním, nebo v případě kováání v jednodutinové zápustce, přímo v přípravných dutinách postupové zápustky. Kování v jednodutinových zápustkách se provádí pro jednoduché rotační výkovky, pro výkovky těžké nebo rozměrné, které není možno vyrábět postupově, dále pro malé série výkovků, kdy postupová zápustka by byla příliš drahá a pro výkovky, které se předtvarují jiným způsobem (např. na kovacích válcích, apod.).

Obvykle se kove najednou pouze jeden výkovek. U drobných výkovků se však často kove více kusů najednou. Tím se zrychluje takt výroby a uspoří se i materiál a lépe se využije stroj.

3.2 Kování na svislých klikových kovacíh lisech

Při kování na klikových lisech je technologie kování odlišná, oproti technologii kování na bucharech. Stálý zdvih beranu lisu nedovoluje provádět prodlužování a rozdělování materiálu, bez podstatného snížení výrobnosti. Při opakovaném zdvihu beranu se již výkovek dále netváří a musí být přenesen do jiné dutiny. Klikové lisy jsou tudíž vhodné pro pýchovací a vytlačovací operace. Tváří se na jeden zdvih a dochází při tom k intenzivnímu radiálnímu tečení materiálu. Konstrukce lisu dovoluje použití vyhazovačů, takže výkovky mají menší úkopy. Předkovky, pokud jejich tvar vyžaduje prodlužování nebo rozdělovací operaci, je nutno kovat zvlášť na bucharech, kovacíh válcích nebo použít periodické předvalky či předvalky vyrobené příčným klínovým válcováním nebo předkovky vyrobené rotačním kovááním. Nevýhodou kování na lisech je zakováávání okují do povrchu výkovku, případně do zápusťkového bloku. Je proto žádoucí, i pokud to není nutné z hlediska tvářecího postupu, jako první operaci volit pýchování. Při něm okuje většinou odprýskají a jsou odfouknuty.

3.3 Kování na vřetenových lisech

Vřetenové lisy tvoří jakýsi přechod mezi buchary a klikovými lisy. Z hlediska charakteru kování je zařazujeme do stejné skupiny strojů jako buchary, tzn., že při dopadu dosahují velkého tlaku rázem. Přitom se toto děje při malé dopadové rychlosti 0,3 až 0,7 m.s⁻¹, což odpovídá rychlostem u klikových lisů.

Vřetenové lisy jsou charakterizovány max. silou, ale přitom stejně důležitým údajem je velikost rázové práce. Tato práce je úměrná hmotnosti setrvačníku, čtverci jeho otáček a čtverci průměru setrvačníku. To znamená, že rázovou práci můžeme snadno zvětšit ale i zmenšit změnou počtu otáček. Záleží také i na době styku hnacího kotouče se setrvačníkem, na síle jakou se kotouč k setrvačníku přitiskne a na příslušném tření. To znamená, že zápusťkové kování na vřetenových lisech vyžaduje značné náročnosti a opatrnosti, aby nedošlo k přetížení lisu nebo jeho destrukci. Proto dalším důležitým údajem je minimální deformační dráha, která se připouští při plném úderu.

Z předcházejícího rozboru možných technologií zápusťkového kování a tvaru součástí – rotační s vysokým stupněm členitosti, vyplývá, že zadanou součást bude nejvýhodnější vyrábět na klikovém kovacíh lisu.

4 TECHNOLOGICKÝ POSTUP ZVOLENÉ TECHNOLOGIE

4.1 Zatřídění výkovku podle složitosti tvaru dle ČSN 42 9002

označení výkovku: **5 3 5 0 - 4**

- tvarový druh: 5 – výkovek kruhovitěho průřezu dutý
- tvarová třída: 3 – jednostranně osazený
- tvarová skupina: 5 – výkovky duté
- tvarová podskupina: 0 – bez přesahu
- technologické hledisko: 4 – výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu, esouměrný

4.2 Materiál výkovku

Jakost oceli:..... 14 231.0
Provedení: válcováno za tepla.
Mez pevnosti v tahu:..... $R_m = 981 \div 1177$ MPa.
Mez pevnosti v kluzu:..... $R_e = 794$ MPa.

Skupina ocelí: k cementování a nitrocementování. Jemnozrnná ocel s titanem. Vhodná pro přímé kalení po ochlazení z cementační teploty. Vhodná pro značně namáhané strojní součásti s vyšší pevností jádra při dobré houževnatosti. Ocel je dobře tváritelná za tepla, a je dobře obrobitelná (pro hladké obrábění se doporučuje ocel zušlechťená na pevnost 690 až 880 MPa).

CHEMICKÉ SLOŽENÍ (%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti
0,23 ÷ 0,29	0,17 ÷ 0,37	0,8 ÷ 1,10	0,035	0,034	1,00 ÷ 1,30	0,04 ÷ 0,10

4.3 Návrh výkovku

Podle výkresu součásti NÁBOJ KOLA (č.v. : BP – 2008 – 001) byl navržen výkovek s výkresem (č.v.: BP – 2008 – 002). Přídavky na obrábění a technologické přídavky jsou navrženy podle normy ČSN 42 9030.1.

Výkovek se bude po kování obrábět.

Přesnost provedení výkovku – **obvyklé provedení**.

4.4 Přídavky na obrábění

Největší průměr ve směru kolmo k rázu je 132 mm – rozsah (100 ÷ 160 mm). Největší výška hotového výrobku je 49,1 mm – rozsah (40 ÷ 63 mm). viz. tab. 1

Přídavek na obrábění podle normy ČSN 42 9030.1 činí **2,5 mm**.

4.5 Technologické přídavky

Poloměry zaoblení r_2 a poloměry přechodů R_2 výkovku. Výška (hloubka) činí 27 mm – rozsah (25 ÷ 40 mm). Poměr H/f do 2. viz. tab. 2

Zvolené rozměry podle ČSN 42 9030:

- poloměr zaoblení hrany: $r_2 = 2$ mm
- poloměr zaoblení přechodu: $R_2 = 6$ mm

Poloměry zaoblení r_6 a poloměry přechodů R_6 výkovku. Výška (hloubka) činí 16 mm – rozsah (do 25 mm). Poměr H/f do 2. viz. tab. 2

Zvolené rozměry podle ČSN 42 9030:

- poloměr zaoblení hrany: $r_6 = 3$ mm
- poloměr zaoblení přechodu: $R_6 = 8$ mm

Nejmenší tloušťka dna, blány, disku H_1 a stěny s výkovku. Největší rozměr výkovku ve směru kolmo k rázu je 175 mm – rozsah (100 ÷ 160 mm). Největší výška výkovku H je 54 mm – rozsah (40 ÷ 63 mm). Podle normy ČSN 42 9030 volím **11 mm** (viz. tab. 3).

Úkosity zápusťkového výkovku podle ČSN 42 9030 (viz. tab. 4):

- vnější úkosity 3°
- vnitřní úkosity 7°

Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovku podle ČSN 42 9030:

- pro stupeň přesnosti 5 kolmo k rázu:

Mezní úchytky: + 1,3 mm

– 0,6 mm

Tolerance: 1,9 mm

- pro stupeň přesnosti 5 rovnoběžně s rázem:

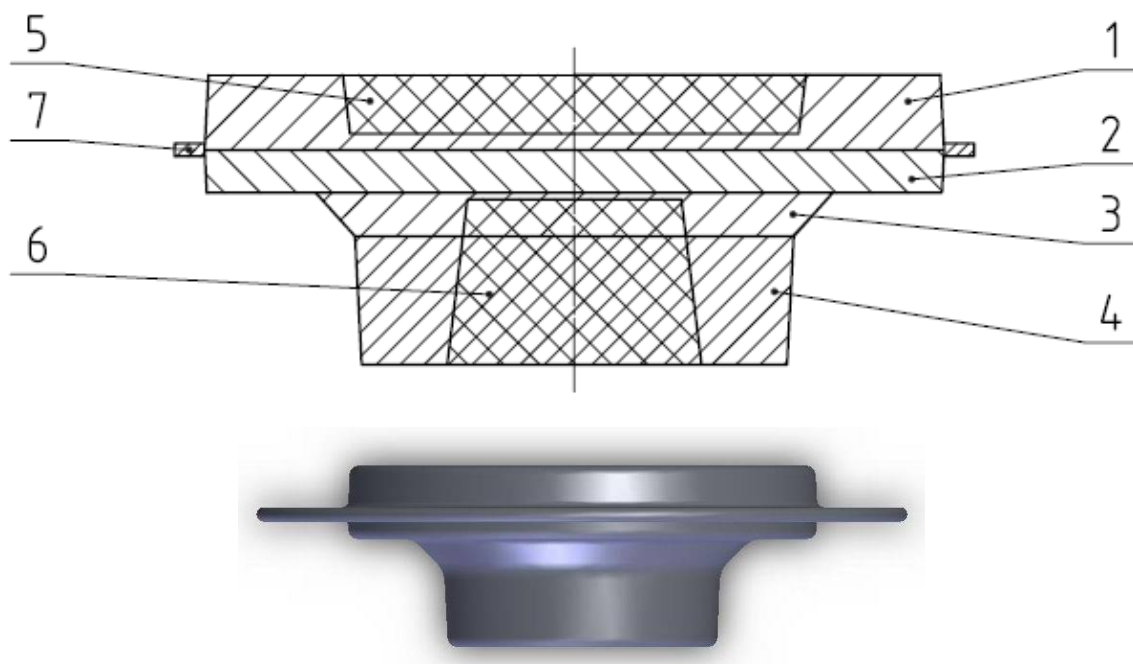
Mezní úchytky: + 1,3 mm

– 0,6 mm

Tolerance: 1,9 mm

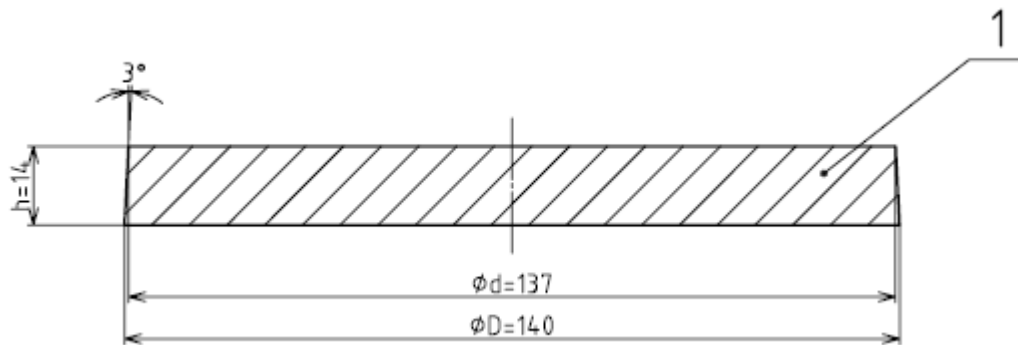
4.6 Výpočet hmotnosti výkovku

Výkovek rozdělen na elementární rotační komolé kužele podle obr. 22 a následně je vypočten objem výkovku.



Obr. 22 Náboj kola

Výpočet hmotnosti pro pozici číslo 1:



Obr. 23 Pozice číslo 1

$$V_1 = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot h \cdot (D^2 + D \cdot d + d^2)$$

$$V_1 = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot 0,014 \cdot (0,14^2 + 0,14 \cdot 0,137 + 0,137^2)$$

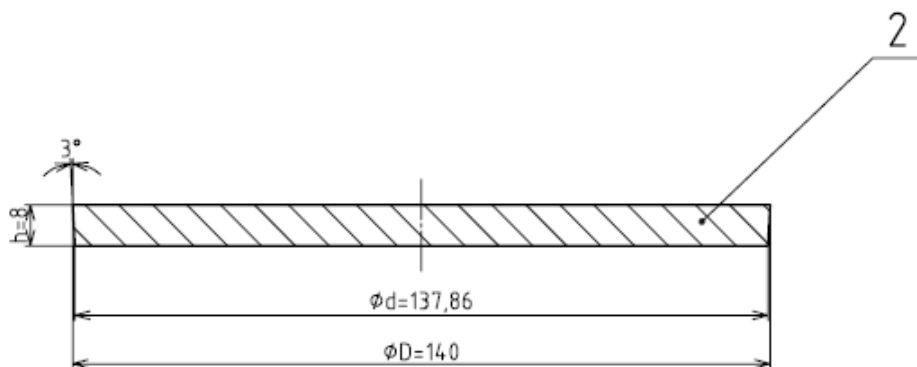
$$V_1 = 2,109 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$m_1 = V_1 \cdot \rho_{\text{Fe}}$$

$$m_1 = 2,109 \cdot 10^{-4} \cdot 7850$$

$$m_1 = \underline{1,656 \text{ kg}}$$

Výpočet hmotnosti pro pozici číslo 2:



Obr. 24 Pozice číslo 2

$$V_2 = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot h \cdot (D^2 + D \cdot d + d^2)$$

$$V_2 = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot 0,008 \cdot (0,14^2 + 0,14 \cdot 0,13786 + 0,13786^2)$$

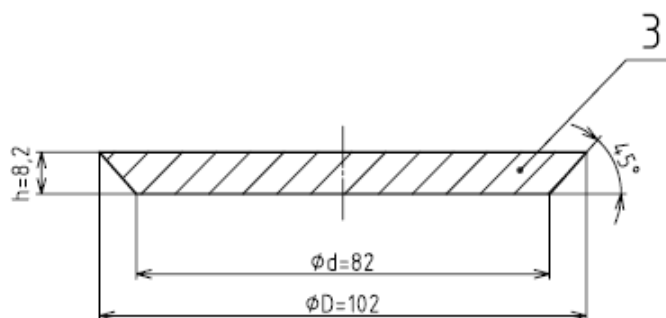
$$V_2 = 1,213 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$m_2 = V_2 \cdot \rho_{\text{Fe}}$$

$$m_2 = 1,213 \cdot 10^{-4} \cdot 7850$$

$$m_2 = \underline{0,952 \text{ kg}}$$

Výpočet hmotnosti pro pozici číslo 3:



Obr. 25 Pozice číslo 3

$$V_3 = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot h \cdot (D^2 + D \cdot d + d^2)$$

$$V_3 = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot 0,0082 \cdot (0,102^2 + 0,102 \cdot 0,082 + 0,082^2)$$

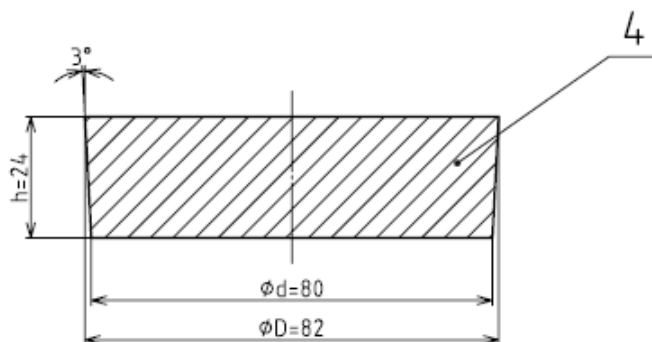
$$V_3 = 5,473 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$m_3 = V_3 \cdot \rho_{\text{Fe}}$$

$$m_3 = 5,473 \cdot 10^{-5} \cdot 7850$$

$$m_3 = 0,431 \text{ kg}$$

Výpočet hmotnosti pro pozici číslo 4:



Obr. 26 Pozice číslo 4

$$V_4 = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot h \cdot (D^2 + D \cdot d + d^2)$$

$$V_4 = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot 0,024 \cdot (0,082^2 + 0,082 \cdot 0,08 + 0,08^2)$$

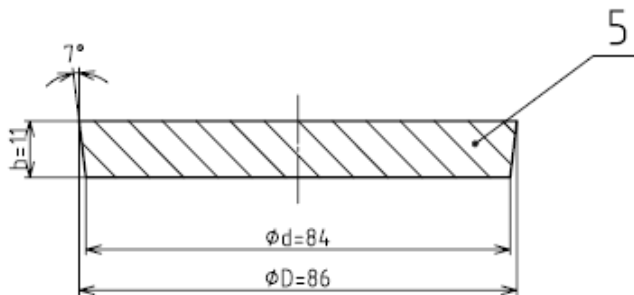
$$V_4 = 1,237 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$m_4 = V_4 \cdot \rho_{\text{Fe}}$$

$$m_4 = 1,237 \cdot 10^{-4} \cdot 7850$$

$$m_4 = 0,971 \text{ kg}$$

Výpočet hmotnosti pro pozici číslo 5:



Obr. 27 Pozice číslo 5

$$V_5 = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot h \cdot (D^2 + D \cdot d + d^2)$$

$$V_5 = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot 0,011 \cdot (0,086^2 + 0,086 \cdot 0,084 + 0,084^2)$$

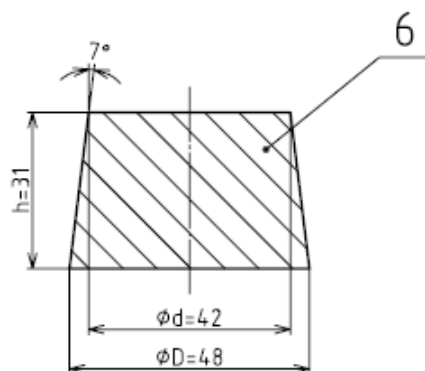
$$V_5 = \underline{6,243 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3}$$

$$m_5 = V_5 \cdot \rho_{\text{Fe}}$$

$$m_5 = 6,243 \cdot 10^{-5} \cdot 7850$$

$$m_5 = \underline{0,491 \text{ kg}}$$

Výpočet hmotnosti pro pozici číslo 6:



Obr. 28 Pozice číslo 6

$$V_6 = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot h \cdot (D^2 + D \cdot d + d^2)$$

$$V_6 = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot 0,031 \cdot (0,048^2 + 0,048 \cdot 0,042 + 0,042^2)$$

$$V_6 = \underline{4,938 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3}$$

$$m_6 = V_6 \cdot \rho_{\text{Fe}}$$

$$m_6 = 4,938 \cdot 10^{-5} \cdot 7850$$

$$m_6 = \underline{0,388 \text{ kg}}$$

4.7 Výpočet hmotnosti výronku: (pozice číslo 7)

- Výpočet plochy průmětu $S_{výk}$ do dělicí roviny:

$$D_{výk} = 140 \text{ mm}$$

$$S_{výk} = \frac{\pi \cdot D_{výk}^2}{4} = \underline{15393,9 \text{ mm}^2}$$

- Výpočet tloušťky výronku:

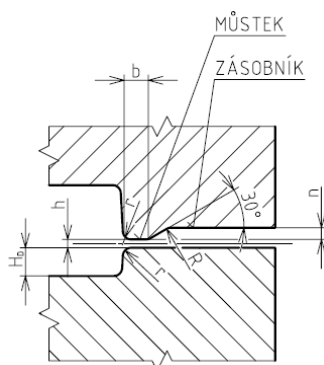
$$\alpha = 0,015 \div 0,017$$

$$h = \alpha \cdot \sqrt{S_{výk}}$$

$$h = 0,016 \cdot \sqrt{15393,9}$$

$$h = \underline{2,5 \text{ mm}}$$

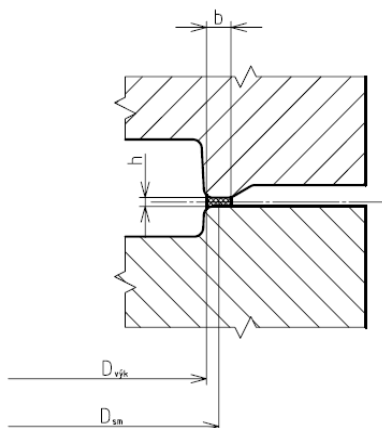
- Stanovení tvaru a rozměru podle ČSN 22 8306:



$$\begin{aligned} h &= 2,5 \text{ mm}, \\ b &= 6 \text{ mm}, \\ n &= 0,4 \cdot h + 2 = 2,8 \text{ mm}, \\ r &= R = 2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Obr. 29 Tvar výronkové drážky

- Výpočet hmotnosti výronkového můstku:



$$D_{sm} = D_{výk} + b$$

$$D_{sm} = 140 + 6$$

$$D_{sm} = \underline{146 \text{ mm}}$$

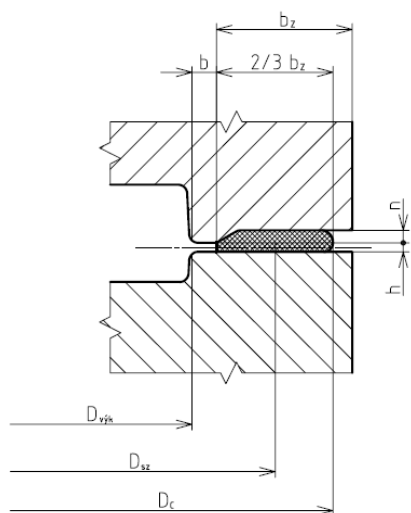
$$m_{vm} = h \cdot b \cdot \pi \cdot D_{sm} \cdot \rho$$

$$m_{vm} = 2,5 \cdot 6 \cdot \pi \cdot 146 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6}$$

$$m_{vm} = \underline{0,0432 \text{ kg}}$$

Obr. 30 Můstek výronkové drážky

- Výpočet hmotnosti výronkového zásobníku:



$$D_{sz} = D_{vyk} + 2 \cdot b + \frac{2}{3} \cdot b_z$$

$$D_{sz} = 140 + 2 \cdot 6 + \frac{2}{3} \cdot 32$$

$$D_{sz} = D_{vyk} + 2 \cdot b + \frac{2}{3} \cdot b_z = \underline{173,3 \text{ mm}}$$

$$m_{vz} = \frac{2}{3} \cdot b_z \cdot (h + n) \cdot \pi \cdot D_{sz} \cdot \rho_{Fe}$$

$$m_{vz} = \frac{2}{3} \cdot 32 \cdot (2,5 + 2,8) \cdot \pi \cdot 173,3 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6}$$

$$m_{vz} = \underline{0,438 \text{ kg}}$$

Obr. 31 Zásobník výronkové drážky

- Celková objem výronku:

$$m_7 = m_{vm} + m_{vz}$$

$$m_7 = 0,0432 + 0,438$$

$$m_7 = \underline{0,4812 \text{ kg}}$$

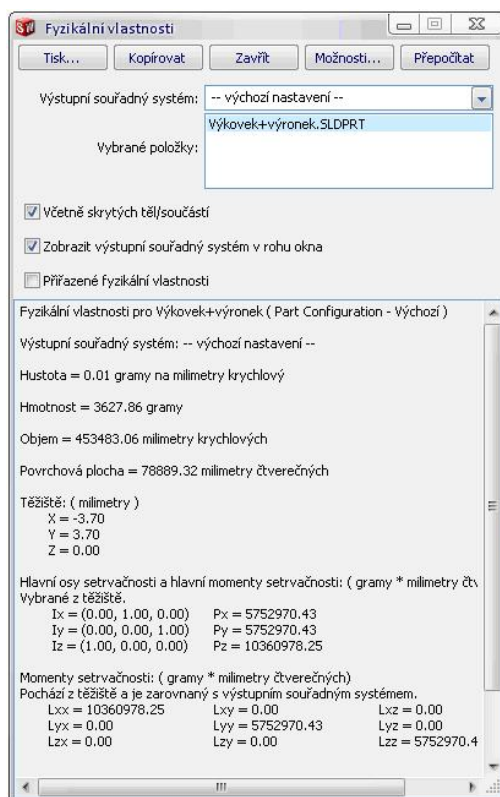
4.8 Výpočet celkové hmotnosti výkovku

$$m_{\check{c}v} = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 - (m_5 + m_6) + m_7$$

$$m_{\check{c}v} = 1,656 + 0,952 + 0,431 + 0,971 - (0,491 + 0,388) + 0,4812$$

$$m_{\check{c}v} = \underline{3,612 \text{ kg}}$$

Ověření výpočtu hmotnosti čistého výkovku programem SolidWorks 2007®



Obr. 32 Fyzikální vlastnosti výkovku určené programem SolidWorks 2007®

Hmotnost odpadu:

$$m_{OD} = 20\% \cdot m_{\check{C}V}$$

$$m_{OD} = 0,2 \cdot 3,612$$

$$\underline{m_{OD} = 0,723 \text{ kg}}$$

Hmotnost opalu:

$$m_{OP} = 1\% \cdot m_{\check{C}V}$$

$$m_{OP} = 0,01 \cdot 3,612$$

$$\underline{m_{OP} = 0,361 \text{ kg}}$$

Hmotnost výchozího polotovaru:

$$m_{VP} = m_{\check{C}V} + m_{OD} + m_{OP}$$

$$m_{VP} = 3,612 + 0,723 + 0,361$$

$$\underline{m_{VP} = 4,696 \text{ kg}}$$

4.9 Výpočet rozměru výchozího polotovaru

Objem polotovaru:
$$V_p = \frac{m_{VP}}{\rho_{Fe}} = \frac{4,696}{7850} = 5,982 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Určení rozměrů polotovaru:

Rozměry polotovaru musí respektovat štíhlostní poměr λ (poměr délky polotovaru k průměru polotovaru), aby nedošlo k vybočení do strany v počátku petchování tzv. ztráta stability.

$$\lambda = \frac{L_p}{D_p} = 1,5 \div 2,8$$

Výpočet rozměru výchozího polotovaru:

Průměr polotovaru:
$$D_p = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_p}{\lambda}} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{598216,5}{2}} = 72,2 \Rightarrow \underline{70 \text{ mm}}$$

Délka polotovaru:
$$V_p = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \cdot l_p \Rightarrow l_p = \frac{V_p}{\frac{\pi \cdot d_p^2}{4}} = \frac{598216,5}{\frac{\pi \cdot 70^2}{4}} = 155,4 \Rightarrow \underline{156 \text{ mm}}$$

Ověření rozměrů polotovaru podle štíhlostního poměru:
$$\lambda = \frac{L_p}{D_p} = \frac{156}{70} = \underline{2,23}$$

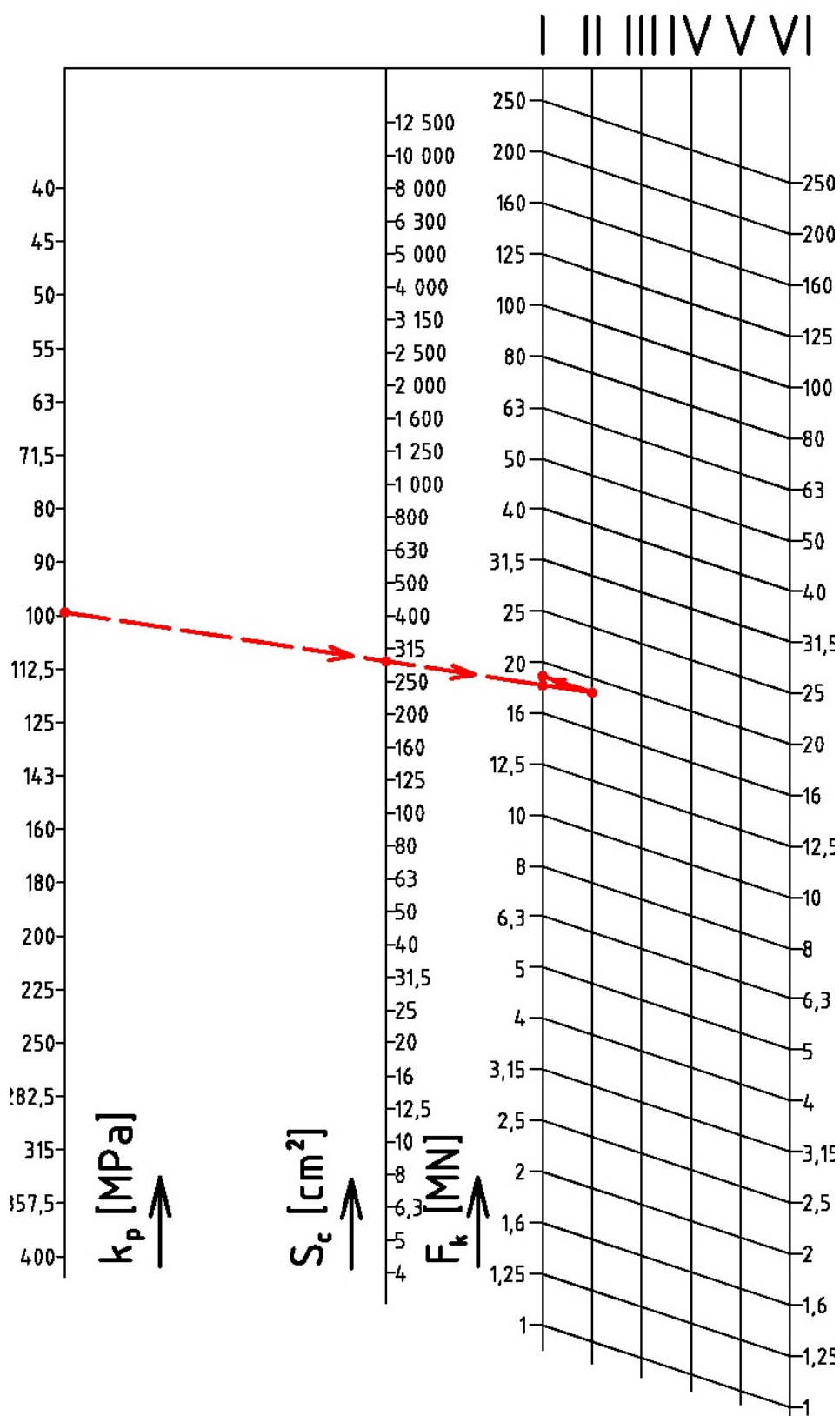
Volba kovací teploty a kmitočtu indukčního ohřevu

Kovací teplota $1100 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$ a kmitočet elektrického proudu 2000 Hz , pro rozsah polotovaru ($\varnothing 35 \div \varnothing 120 \text{ mm}$).

4.10 Stanovení kovací síly podle ČSN 22 8306

- základní přetvárný odpor: $k_p = 101 \text{ MPa}$,
- průmět plochy výkovku: $S_c = 297,42 \text{ cm}^2$,
- stupeň tvarové složitosti: II – kompaktní, málo členité součásti.

Postup stanovení kovací síly je zřejmý z obr. 33



Obr. 33 Grafické stanovení kovací síly podle ČSN 22 8306

4.11 Teoretický výpočet kovací síly podle Tomlenova

4.11.1 Napětí v jednotlivých bodech průřezu výkovku

- napětí σ_0 v bodě 0 průřezu výkovku:

$$\sigma_0 = 1,285 \cdot R_{mT} \cdot C_0 = 1,285 \cdot 40 \cdot 4,5 = \underline{231,3 \text{ MPa}}$$

- napětí σ_1 v bodě 1 průřezu výkovku:

$$\sigma_1 = \sigma_0 + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{\Delta x_1}{h} = 231,3 + 40 \cdot 4,5 \cdot \frac{6}{2,5} = \underline{663,3 \text{ MPa}}$$

- napětí σ_2 v bodě 2 průřezu výkovku:

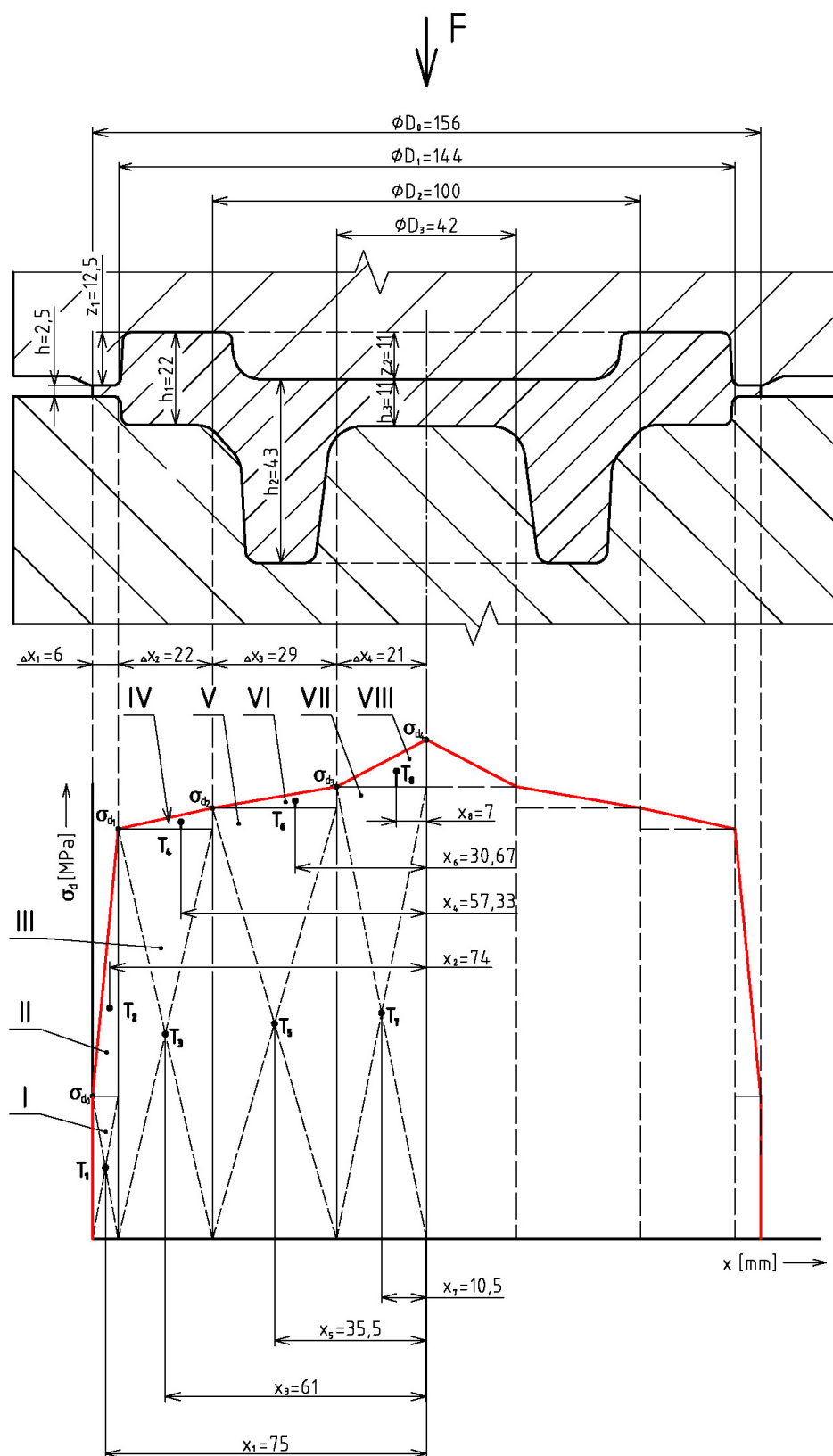
$$\sigma_2 = \sigma_1 + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{\Delta x_2}{h_1} = 663,3 + 40 \cdot 4,5 \cdot \frac{22}{22} = \underline{703,3 \text{ MPa}}$$

- napětí σ_3 v bodě 3 průřezu výkovku:

$$\sigma_3 = \sigma_2 + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{\Delta x_3}{h_2} = 703,3 + 40 \cdot 4,5 \cdot \frac{29}{43} = \underline{824,7 \text{ MPa}}$$

- napětí σ_4 v bodě 4 průřezu výkovku:

$$\sigma_4 = \sigma_3 + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{\Delta x_4}{h_3} = 824,7 + 40 \cdot 4,5 \cdot \frac{21}{11} = \underline{1168,3 \text{ MPa}}$$



Obr. 34 Schéma nárůstu normálových napětí (M 1:2)

4.11.2 Síla vznikající od normálních složek napětí

$$F_N = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{j=1}^n S_j \cdot x_i$$

Tab. 13 Součet ploch ohraničených křivkou napětí a osou x

Plocha	S_i	x_i	$S_i \cdot x_i$
I	2 012,31	75	150 923,25
II	1 879,22	74	139 061,91
III	21 159,38	61	1 290 722,18
IV	638	57,33	36 576,54
V	29 573,91	35,5	1 049 873,81
VI	567,1	30,67	17 392,8
VII	22 236,9	10,5	233 487,45
VIII	1 162,35	7	8 136,45
$\sum_{j=1}^n S_j \cdot x_i$			2 926 174,39

$$F_N = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{j=1}^n S_j \cdot x_i = 2 \cdot \pi \cdot 2\,926\,174,39 = 18\,385\,695,93 \text{ N} = \underline{18,4 \text{ MN}}$$

4.11.3 Síla vznikající od tangenciálních složek napětí:

$$F_T = \frac{Rm_t}{2} \cdot \pi \cdot \sum_{j=1}^n \Delta S'_j$$

$$\sum_{j=1}^n \Delta S'_j = S'_1 + S'_2 \pi \cdot (D_1 \cdot z_1 + D_2 \cdot z_3)$$

$$\sum_{j=1}^n \Delta S'_j = \pi \cdot (144 \cdot 12,5 + 84 \cdot 11) = 8\,400,62 \text{ mm}^2$$

$$F_T = \frac{40}{2} \cdot \pi \cdot 8\,400,62 = 527\,826,52 \text{ N} = \underline{527,83 \text{ kN}}$$

4.11.4 Výsledná kovací síla podle Tomlenova

$$F_k = F_N + F_T$$

$$F_k = 18\,385\,695,93 + 765\,348,46$$

$$F_k = 19\,151\,042,39 \text{ N} = \underline{19,15 \text{ MN}}$$

4.12 Výpočet kovací síly podle Brjuchanova – Rebelského

Výpočet kovací síly podle Brjuchanova – Rebelského zohledňuje vlivy zvětšující se meze kluzu materiálu v tahu. Mezi tyto vlivy řadíme vliv rychlosti, vliv tření, vliv tloušťky výronku.

$$F_k = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D_C) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D_C}\right)^2 \cdot \sigma_p \cdot S_d$$

$$F_k = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot 140) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{140}\right)^2 \cdot 159 \cdot 15393,8$$

$$F_k = 17832129 \text{ N} = \underline{17,83 \text{ MN}}$$

4.13 Výpočet kovací síly podle Storoževa

Výpočet kovací síly podle Storoževa určuje součet síly jako součet síly potřebné pro přetvoření kovu v zápustce. Uvedený vztah je pro kruhový výkovek.

$$S_v = \frac{\pi \cdot D_C^2}{4} = \frac{\pi \cdot 140^2}{4} = 15393,8 \text{ mm}^2$$

$$S_{\text{výr}} = \frac{\pi \cdot (D_C^2 - D_v^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (194^2 - 140^2)}{4} = 14165,4 \text{ mm}^2$$

$$F_k = \sigma_p \cdot \left[\left(1,5 + 0,5 \cdot \frac{s}{2 \cdot h_v}\right) \cdot S_{\text{výr}} + \left(1,5 + \frac{s}{h_v} + 0,1 \cdot \frac{D}{h_v}\right) \cdot S_v \right]$$

$$F_k = 109 \cdot \left[\left(1,5 + 0,5 \cdot \frac{6}{2 \cdot 2,5}\right) \cdot 14165,44 + \left(1,5 + \frac{6}{2,5} + 0,1 \cdot \frac{140}{2,5}\right) \cdot 15393,8 \right]$$

$$F_k = 19132749,2 \text{ N} = \underline{19,13 \text{ MN}}$$

Tab. 14 Porovnání výsledků

METODA PODLE	VÝSLEDNÁ KOVACÍ SÍLA
TOMLENOVA	19,15 MN
BRJUCHANOV – REBELSKÉHO	17,83 MN
STOROŽEVA	19,13 MN
GRAFICKY podle ČSN 22 8306	18 MN

4.14 Volba tvářecího stroje

Volím svislý kovací lis LMZ 2500 se jmenovitou tvářecí silou 25 MN. Výrobce lisu Šmeral Brno, a.s. viz obr. 35

Svislý kovací lis LMZ 2500



LMZ 2500



Výrobce

Šmeral Brno, a.s.

Křenová 65c

Brno

658 25

Česká republika

Tel.: 00 420(0)5/43257107

Fax: 00 420(0)5/43255143

E-mail: obch@smeral.cz

www.smeral.cz

Obr. 35 Svislý klikový kovací lis LMZ 2500 [20]

Pracovní rozsah

Jmenovitá tvářecí síla	MN	25
Sevření	mm	910–960
Průchod	mm	1 470

Stůl

Upínací plocha	mm	1 420 x 1400
Tloušťka stolní desky	mm	
Zdvih spodního vyhazovače	mm	70
Vyhazovací síla	kN	125

Beran

Upínací plocha	mm	1 030 x 1 250
Přestavitelnost	mm	10
Zdvih	mm	320
Pracovní dráha	mm	
Počet zdvihů	min ⁻¹	70
Zdvih horního vyhazovače	mm	45
Vyhazovací síla	kN	125
Výkon hlavního motoru	kW	130,0

Stroj

Celkový příkon	kVA	145,0
----------------	-----	-------

Rozměry

délka	mm	4 175
šířka	mm	3 665
výška	mm	6 700
Hmotnost	kg	155 000

UŽITÍ STROJE:

Svislé kovací lisů řady LMZ jsou určeny pro přesné zápusťkové kování a kalibrování výkovků za tepla. Jsou zvláště vhodné pro zpracování složitých, objemově i mechanicky náročných zápusťkových výkovků pro automobily, traktory, letecký průmysl, zemědělské stroje apod. Charakteristickým znakem těchto lisů je příčně uložený výstředníkový hřídel a ústrojí pro výškové přestavení beranu, které lze použít k uvolnění beranu ze zaseknutí z dolní úvratě. Stojany lisů jsou z lité oceli, ovládání třecích lamelových spojů a brzd je elektropneumatické. Ovládací prvky a diagnostika poruch kontrolními žárovkami jsou soustředěny na ovládacím panelu. Velké boční průchody, velká plocha stolu a beranu, možnost rychlého přestavování beranu i konstrukce vyhazovačů umožňuje bez větších zásahů použití mechanizace a automatizace v kovacímu procesu.

4.15 Výpočet síly na ostřížení vnitřního a vnějšího výronku

Po vykování výkovku zůstane po obvodě a ve středu vnější a vnitřní výronek, které jsou potřeba ostříhnout, protože se jedná o přebytečný materiál.

4.15.1 Výpočet střížné síly pro ostřížení vnitřního výronku (blány)

$$F_{S1} = \eta \cdot o \cdot t_0 \cdot \tau_s$$

$$F_{S1} = 1,2 \cdot \pi \cdot D_4 \cdot t_0 \cdot 0,8 \cdot R_m$$

$$F_{S1} = 1,2 \cdot \pi \cdot 42 \cdot 11 \cdot 0,8 \cdot 1100$$

$$F_{S1} = 1532695 \text{ N} = \underline{1,53 \text{ MN}}$$

4.15.2 Výpočet střížné síly pro ostřížení vnějšího výronku

$$F_{S2} = \eta \cdot o \cdot t_2 \cdot \tau_s$$

$$F_{S2} = 1,2 \cdot \pi \cdot D_C \cdot t_2 \cdot 0,8 \cdot R_m$$

$$F_{S2} = 1,2 \cdot \pi \cdot 140 \cdot 3,1 \cdot 0,8 \cdot 1100$$

$$F_{S2} = 1439805 \text{ N} = \underline{1,44 \text{ MN}}$$

4.15.3 Celková střížná síla

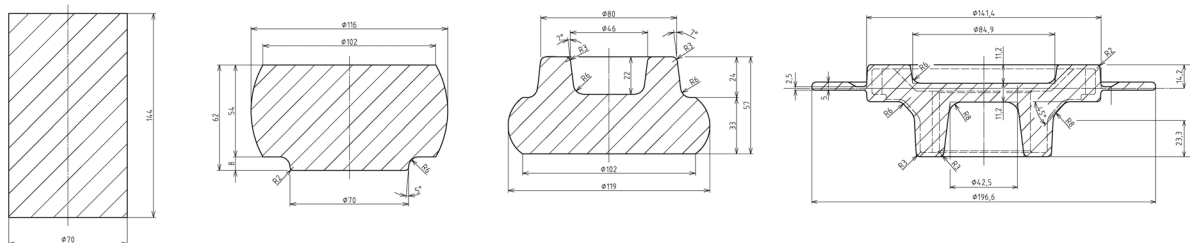
$$F_S = F_{S1} + F_{S2}$$

$$F_S = 1532695 + 1439805$$

$$F_S = 2972500 \text{ N} = \underline{2,97 \text{ MN}}$$

Volím dvoudobý jednočinný klikový lis LDO 315 A/1 o jmenovité tvářecí síle 3 150 kN. Výrobce lisu Šmeral Brno, a.s. [21]

4.16 Schematický postup kování s postupovým listem



Obr. 35 Schematický postup kování

Tab. 15 Postupový list

POSTUPOVÝ LIST			
Název výkovku: NÁBOJ KOLA - VÝKOVEK		Číslo výkresu výkovku: V-BP-2008-002	Číslo výkresu součásti: BP-2008-001
Číslo operace:	Název operace:		
1.	Dělení materiálu – řezání:		
	Jakost materiálu: 14 231.0	Profil materiálu: Ø 70 mm	ČSN materiálu: 42 5510.21
	Stroj: pásová pila ARG 100	Délka: 156 +1 mm	Hmotnost přířezu: 4,7 kg
2.	Kontrola přířezu:		
	Způsob kontroly: Kontrola hmotnosti a jakosti přířezu s četností 10%.		
3.	Kování v kovací lince:		
	A	Indukční ohřev:	
		Stroj: ISOK 300	Teplota: 1100 °C ± 20 °C
	B	Kování:	
		Stroj: LMZ 2500	Kovací teplota: 1100 °C ± 20 °C
		Kovací síla: 19,15 MN	
		1. operace: přechovat	
		2. operace: předkovat	
		3. operace: dokovat	
	C	Ostříh:	
		Stroj: LDO 315 A/S	Hmotnost výkovku: 4,7 kg
4.	Tepelné zpracování:		
	Druh: normalizační žíhání na 530 ÷ 735 MPa		Agregát: vozová pec
5.	Kontrola tvrdosti:		
	Požadovaná tvrdost: 60 ± 2 HRC		
6.	Tryskání:		
	Stroj: Tryskací zařízení PTB3.		

5 NÁVRH SESTAVY A VÝROBNÍCH VÝKRESŮ

Zadáno:

Výkres součásti

název:

NÁBOJ KOLA

číslo výkresu:

BP – 2008 – 001

Zkonstruováno:

Výkres zápusťkového výkovku

název:

NÁBOJ KOLA – VÝKOVEK

číslo výkresu:

BP – 2008 – 002

Výkres teplého neostříženého výkovku při kovací teplotě 1 100 °C

název:

TEPLÝ NEOSTŘÍŽENÝ VÝKOVEK

číslo výkresu

BP – 2008 – 003

Výkres sestavy

název:

KOVACÍ ZÁPUSTKY

číslo výkresu:

BP – 2008 – 010

Výkres pěchovací zápusťky

název:

PĚCHOVACÍ ZÁPUSTKY

číslo výkresu:

BP – 2008 – 010 – 1

Výkres předkovací zápusťky

název:

PŘEDKOVACÍ ZÁPUSTKY

číslo výkresu:

BP – 2008 – 010 – 2

Výkres dokončovací zápusťky

název:

DOKONČOVACÍ ZÁPUSTKA

číslo výkresu:

BP – 2008 – 010 – 3

6 Technicko – ekonomické zhodnocení

Tímto hodnocením, které vychází z kalkulačních vzorců, zjišťuje náklady na výrobu dané součásti.

Tyto náklady lze rozdělit:

1. Opakované (závislé): tyto náklady je nutno vynaložit na výrobu každého kusu, což v jednoduchém případě hodnocení výrobní operace znamená, zhotovit náklady na přímé mzdy, materiál, provozní náklady a režijní náklady.
2. Jednorázové (nezávislé): tyto náklady je nutno vynaložit před zahájením výroby součásti a patří mezi ně například náklady na speciální nářadí, přípravky, na vypracování výrobní dokumentace.

Pro stanovení kalkulace je potřeba zohlednit položky:

- a) základní materiál,
- b) vratný materiál,
- c) mzdy výrobních dělníků,
- d) dílenská režie,
- e) podniková režie,
- f) ztráty ze zmetků,
- g) zvláštní náklady,
- h) nevýrobní náklady.

Výpočet pro vybrané výrobní technologie:

Počet vyráběných kusů:n = 40 000 ks.

Hmotnost konečného výrobku:m_c = 1,56 kg.

Cena 1 kg oceli 14 231.1:C_m = 83 Kč.

Výkupní cena ocelového odpadu:C_v = 3 Kč.

Výkupní cena třískového odpadu:C_{vo} = 1,50 Kč.

6.1 Náklady na výrobu součásti obráběním

a) Náklady na materiál:

Rozměr polotovaru: Ø140 – 55 mm.

Hmotnost polotovaru: m_p = 6,65 kg.

Náklady na 1 ks: N_{m1} = C_m · m_p = 83 · 6,65 = 551,62 Kč

Celkové náklady na materiál: N_m = N_{m1} · n = 551,62 · 40 000 = 22 064 720 Kč

b) Mzdy výrobních dělníků:

Výrobní čas jedné součásti: t_k = 24,60 min

Hodinová mzda výrobního dělníka: m_v = 100 Kč

Mzdy na 1 ks: $M_{v1} = \frac{t_k}{60} \cdot m_v = \frac{24,60}{60} \cdot 100 = 41 \text{ Kč}$

Celkové mzdy: M_v = M_{v1} · n = 41 · 40 000 = 1 640 000 Kč

c) Vratný odpad:

Určíme z rozdílu hmotnosti výchozího a konečného polotovaru výrobku:

Odpad z 1 ks polotovaru: m₁ = m_p – m_c = 6,65 – 1,56 = 5,09 kg

Hmotnost celkového odpadu: m_{co} = m₁ · n = 5,09 · 40 000 = 203 440 kg

Cena vratného odpadu: $N_o = m_{co} \cdot C_{vo} = 203\,440 \cdot 1,5 = 305\,160 \text{ Kč}$

d) Dílenská režie:

Třískové obrábění činí 650 % mezd výrobních dělníků.

$$m_D = 6,5 \cdot M_V = 6,5 \cdot 1\,640\,000 = 10\,660\,000 \text{ Kč}$$

e) Podniková režie:

Činí 200 % mezd výrobních dělníků:

$$m_P = 2 \cdot M_V = 2 \cdot 1\,640\,000 = 3\,280\,000 \text{ Kč}$$

f) Zvláštní náklady:

Cena nástrojů: 98 539 Kč.

6.2 Náklady na výrobu součásti zápustkovým kováním

a) Náklady na materiál:

Rozměr polotovaru: $\varnothing 70 - 140 \text{ mm}$.

Hmotnost polotovaru: $m_p = 3,63 \text{ kg}$.

Náklady na 1 ks: $N_{m1} = C_m \cdot m_p = 83 \cdot 3,63 = 301,04 \text{ Kč}$

Celkové náklady na materiál: $N_m = N_{m1} \cdot n = 301,04 \cdot 40\,000 = 12\,041\,640 \text{ Kč}$

b) Mzdy výrobních dělníků:

Výrobní čas jedné součásti: $t_k = 5,80 \text{ min}$

Hodinová mzda výrobního dělníka: $m_v = 100 \text{ Kč}$

Mzdy na 1 ks: $M_{v1} = \frac{t_k}{60} \cdot m_v = \frac{5,80}{60} \cdot 100 = 9,67 \text{ Kč}$

Celkové mzdy: $M_V = M_{v1} \cdot n = 9,67 \cdot 40\,000 = 386\,666,70 \text{ Kč}$

c) Vratný odpad:

Určíme z rozdílu hmotnosti výchozího a konečného polotovaru výrobku:

Odpad z 1 ks polotovaru: $m_i = m_p - m_c = 3,63 - 1,56 = 2,07 \text{ kg}$

Hmotnost celkového odpadu: $m_{co} = m_i \cdot n = 2,07 \cdot 40\,000 = 82\,680 \text{ kg}$

Cena vratného odpadu: $N_o = m_{co} \cdot C_v = 82\,680 \cdot 3 = 248\,040 \text{ Kč}$

d) Dílenská režie:

Pro zápustkové kování činí 1 000 % mezd výrobních dělníků.

$$m_D = 10 \cdot M_V = 10 \cdot 386\,666,70 = 3\,866\,667 \text{ Kč}$$

e) Podniková režie:

Činí 200 % mezd výrobních dělníků:

$$m_P = 2 \cdot M_V = 2 \cdot 386\,666,70 = 773\,333,40 \text{ Kč}$$

f) Zvláštní náklady:

Náklady na zápustky:

$$1. \text{ operace} = 30\,264 \text{ Kč}$$

2. operace = 37 939 Kč

3. operace = 46 363 Kč

Náklady na ostřihovací nástroje činí: 15 000 Kč

Zvláštní náklady pro zápusťkové kování s přihlédnutím k celkové životnosti zápusťek, která činí 10 000 ks výkovků:

Celkové náklady na 4 sady zápusťek činí: 473 264 Kč.

Tab.15 Porovnání technicko – ekonomických ukazatelů

TECHNOLOGIE	OBRÁBĚNÍ	ZÁPUŠŤKOVÉ KOVÁNÍ
POČET KUSŮ [ks]	40 000	40 000
SPOTŘEBA MATERIÁLU [kg.ks ⁻¹]	6,65	3,63
HMOTNOST ODPADU [kg.ks ⁻¹]	5,09	2,07
PRACNOST [min.ks ⁻¹]	24,60	5,80

Tab. 16 Porovnání nákladů v Kč

POLOŽKA	TECHNOLOGIE		ÚSPORY ZÁP. KOVÁNÍ PROTI OBRÁBĚNÍ
	OBRÁBĚNÍ	ZÁP. KOVÁNÍ	
MATERIÁL	22 064 720	12 041 640	10 023 080
MZDY VÝROBNÍCH DĚLNÍKŮ	1 640 000	1 360 000	280 000
DÍLENSKÁ REŽIE	10 660 000	10 193 333	466 667
PODNIKOVÁ REŽIE	3 280 000	1 546 667	1 733 333
ZVLÁŠTNÍ NÁKLADY	98 539	573 135	-474 596
VRATNÝ ODPAD	305 160	248 040	57 120
CELKOVÉ NÁKLADY	38 048 419	25 962 815	12 085 604
NÁKLADY NA 1 KUS	951	649	302

6.3 Zhodnocení ekonomického propočtu

Cena zápusťkového výkovku činí **649 Kč**.

Cena obrobené součásti podobné výkovku činí **951 Kč**.

Zápusťkový výkovek je o **31,75 %** levnější oproti součásti vyrobené třískovým obráběním. Další výhoda je krátký výrobní čas celé dávky, úspora materiálu a lepší průběh vláken výkovku oproti obrobené součásti. což příznivě ovlivňuje mechanické vlastnosti součásti.

7 ZÁVĚR

Úkolem bakalářské práce bylo vypracování literární studie na téma zápustkového kování a na jeho základě rozhodnout o výrobě zadané součásti - náboje kola. Úvodem literární studie se okrajově zabývám historií kování, volným a zápustkovým strojním kováním. Dále se v literární studii zabývám problematikou výroby zápustkového výkovku, od zařazení výkovku podle tvaru, stanovení technologických přídavek a přídavek na obrábění, přes volbu dělicí roviny, až po konstrukční návrh zápustky. Není opomenuto mazání, přehřev a upínání zápustek a volba kovacího stroje. V další části řeším současný stav výroby zadané součásti NÁBOJ KOLA č.v.: BP – 2008 – 001 a volím nejvhodnější technologický postup zápustkového kování. Toto řešení je detailně rozebráno v další kapitole, kde je provedeno zařazení výkovku podle složitosti tvaru a jsou zvoleny technologické přídavky a přídavky na obrábění. Po návrhu výkovku je stanovena jeho hmotnost a polotovár, ze kterého bude výkovek vyráběn. Pro volbu kovacího stroje je prvořadý výpočet kovací síly, která je pro porovnání stanovena jedním informativním způsobem (graficky) a třemi teoretickými způsoby výpočtů. V předposlední sedmé kapitole je provedeno technicko – ekonomické zhodnocení výroby součásti zápustkovým kováním a je porovnáno s výrobou součásti třískovým obráběním. Z technicko – ekonomického porovnání vyplývá, že technologií zápustkového kování šetříme nejen materiál, ale i výrobní kusové časy, což výrazně snižuje cenu zápustkového výkovku. Velkou výhodou objemového tváření je, že při optimálním přetvoření dojde ke zlepšení průběhu vláken, které kopírují součást, čímž jsou zvyšovány mechanické vlastnosti, které jsou u součásti vyráběné třískovým obráběním výrazně nižší.

Produktivita kovárenství se dále může zvyšovat postupnou automatizací a výrobou v taktu např. u kovacích linek. Dále nesmíme opomenout využívat vývoj nových maziv a materiálů na zápustky s vyšší životností. S ohledem na vlastní řešení zápustkového kování ozubeného kola, mohu usoudit, že technologie objemového tváření při použití vyššího stupně automatizace, patří zejména z hlediska úspory materiálu, zlepšení mechanických vlastností součástí k moderním technologiím budoucnosti.

Na samý závěr bakalářské práce je provedena simulace zápustkového kování v programu FormFEM 1.6. Simulací byl ověřen průběh tvářecího procesu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] DVOŘÁK, Milan., et al. *Technologie II. Učební texty FSI VUT Brno*: CERM, 2001. 238 s. ISBN 80-214-2032-4.
- [2] FOREJT, Milan. *Teorie tváření a nástroje*. 1. vyd. Nakladatelství VUT v Brně. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1991. 187 s. ISBN 80-214-0294-6.
- [3] DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
- [4] ČERMÁK, Jan., et al. *Přípravky a nástroje pro tváření kovů za tepla*, ČVUT, Praha 1973. ISBN 80-214-0294-6.
- [5] HLUCHÝ, Miloslav., et al. *Strojírenská technologie I*, 2. vyd. Scientia – pedagogické nakladatelství, Praha 1999, 316 s. ISBN 80-7183-140-9.
- [6] KAMELANDER, Ivan. *Tvářecí stoje I. Učební texty FS VUT Brno*. 3. vyd. Rektorát VUT. 1989. s 206. ISBN 80-214-1037-X.
- [7] LENVEBER, Jan. RASA, Jaroslav. VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*, Albra, 2003. 865 s. ISBN 90-7183-008-9.
- [8] ČSN 42 9030. Výkovky ocelové zápustkové. Přídavky na obrábění mezní úchytky rozměru a tvaru
Schválená: 13. 10. 1986. Účinnost od: 1. 8. 1987.
- [9] ČSN 22 8306. Tvářecí nástroje. Zápustky pro svisle kovací lisy. Technologické požadavky na konstrukci.
Schválená: 26. 11. 1990. Účinnost od 1. 12. 1991.
- [10] ČSN 22 8308. Zápustky pro buchary. Směrnice pro konstrukci.
Schválená: 7. 5. 1970. Účinnost od: 1. 7. 1971.
- [11] ČSN 22 8306. Zápustku pro svislé kovací lisy. Směrnice pro konstrukci.
Schválená: 26. 11. 1990. Účinnost od: 1. 12. 1991.
- [12] ČSN 42 9002. Rozdělení zápustkových výkovků podle složitostí tvaru.
Schválená: 15. 7. 1968. Účinnost od: 1. 1. 1971.
- [13] ČSN 21 1413. Upínání zápustek pro padací a parovzdušné buchary.
Schválená: 17. 2. 1970. Účinnost od: 1. 7. 1971.
- [14] ČSN 21 1420. Upínání zápustek na svislých klikových kovací lisech.
Schválená: 26. 2. 1970. Účinnost od: 1. 6. 1971.

- [15] ČSN 21 1410. Upínání zápustek. Základní ustanovení.
Schválená: 17. 2. 1972. Účinnost od: 1. 7. 1971.
- [16] ČSN 21 1417. Klíny pro padací a protiběžné buchary.
Schválená: 17. 2. 1970. Účinnost od: 1. 7. 1971.
- [17] ČSN 42 9002. Rozdělení zápustkových výkovků podle složitosti tvaru.
Schválená: 9. 10. 1969. Účinnost od: 1. 1. 1971.
- [18] <http://www.smeral.cz/>
- [19] http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/vyuka/katalog/kat/slmz2500_1.html
- [20] http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/vyuka/katalog/kat/slido315a1_1.html
- [21] <http://netdev.cz/sstk>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Deformační práce (rázová, tvářecí)	[J]
a	Minimální vzdálenost kolíku od okraje zápustky	[mm]
B	Šířka	[mm]
B _d	Šířka zápustkové dutiny	[mm]
b	Šířka můstku	[mm]
C _m	Cena 1 kg oceli	[Kč]
C _v	Výkupní cena ocelového odpadu	[Kč]
C _{vo}	Výkupní cena třískového odpadu	[Kč]
C _o	Součinitel snížení plasticity materiálu v oblasti výronku vlivem poklesu teplot	[J]
D	Průměr	[mm]
D _c	Průměr výkovku včetně můstku	[mm]
D _{cv}	Průměr středící vložky	[mm]
D _p	Průměr výchozího polotovaru	[mm]
D _{pt}	Průměr dosedací části předávacího trnu	[mm]
D _{sm}	Střední průměr výronkového můstku	[mm]
D _t	Roztečný průměr otvorů pro vyrážecí kolík upínače zápustky	[mm]
D _v	Průměr výkovku bez výronku	[mm]
D _{výk}	Průměr výkovku s výronkem	[mm]
d _k	Průměr otvoru pro vyhazovací kolík	[mm]
d _p	Průměr otvoru pro prstencový vyhazovač	[mm]
d _{pt}	Průměr otvoru pro předkovací trn	[mm]
d _v	Průměr otvoru pro vyrážecí kolík	[mm]
d _w	Průměr otvoru pro vyhazovací vložku	[mm]
E	Energie	[J]
E _k	Kinetická energie	[J]
E _p	Potenciální energie	[J]
F	Síla	[N]
F _{jm}	Jmenovitá síla lisu	[N]
F _k	Kovací síla	[N]
F _{max}	Maximální síla	[N]
F _n	Normálová síla	[N]
F _s	Střižná síla	[N]
F _T	Třecí síla	[N]
F _t	Tangenciální síla	[N]
h	Výška můstku výronkové drážky	[mm]
h _k	Výška hlavy kolíkového vyhazovače	[mm]
k	Součinitel vlivu chemického složení materiálu	[-]
k _p	Základný přetvárný odpor	[MPa]
L _p	Délka výchozího polotovaru	[mm]
M _V	Celkové mzdy	[Kč]
m	Hmotnost	[kg]
m _c	Hmotnost výkovku bez výronku	[kg]
m _{co}	Hmotnost celkového odpadu	[kg]
m _{čv}	Hmotnost čistého výkovku	[kg]
m _D	Dílenská režie	[Kč]

Fakulta strojního inženýrství T v Brně 2007/2008		BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Jan VOSTŘEL
m_{OD}	Hmotnost odpadu	[kg]	
m_{OP}	Hmotnost opalu	[kg]	
m_{VP}	Hmotnost výchozího polotovaru	[kg]	
N_m	Výrobní náklady na jeden kus	[Kč]	
N_{m1}	Celkové náklady na materiál	[Kč]	
N_O	Cena vratného odpadu	[Kč]	
n	Hloubka zásobníku výronkové drážky	[mm]	
O	Obvod	[mm]	
O_V	Obvod ostřížku po čáře vnějšího výronku	[mm]	
R_e	Mez pevnosti v kluzu	[MPa]	
R_m	Mez pevnosti v tahu	[MPa]	
R_{mt}	Pevnost materiálu za kovací teploty	[MPa]	
S_c	Průmět plochy výkovku včetně můstku do roviny kolmé ve směru rázu	[mm ²]	
S_v	Průmět plochy bez výronku	[cm ²]	
$S_{výr}$	Průmět plochy s výronkem	[mm ²]	
t	Vůle střížného nástroje	[mm]	
V	Objem	[mm ³]	
V_p	Objem výchozího polotovaru	[mm ³]	
$V_{výk}$	Objem výkovku	[mm ³]	
$V_{výr}$	Objem výronku	[mm ³]	
z	Střížná mezera	[mm]	
α	Součinitel závisící na průřezu materiálu a jeho rozložení v peci	[-]	
η	Koeficient zohledňující otupení střížné hrany	[-]	
μ	Koeficient tření	[-]	
λ	Štíhlostní poměr	[-]	
ρ_{Fe}	Hustota oceli	[kg.m ⁻³]	
σ	Napětí v tahu	[MPa]	
σ_p	Přirozený přetvárný odpor	[MPa]	
τ	Napětí ve smyku	[MPa]	
τ_{ps}	Pevnost ve smyku	[MPa]	
ψ	Vliv tření na vzrůst napětí	[mm]	

SEZNAM PŘÍLOH

výkres:	NÁBOJ KOLA	č.v. BP – 2008 – 001
výkres:	NÁBOJ KOLA – VÝKOVEK	č.v. BP – 2008 – 002
výkres:	TEPLÝ NEOSTŘÍŽENÝ VÝKOVEK	č.v. BP – 2008 – 003
výkres:	KOVACÍ ZÁPUSTKY	č.v. BP – 2008 – 010
výkres:	PĚCHOVACÍ ZÁPUSTKY	č.v. BP – 2008 – 010 – 1
výkres:	PŘEDKOVACÍ ZÁPUSTKY	č.v. BP – 2008 – 010 – 2
výkres:	DOKONČOVACÍ ZÁPUSTKY	č.v. BP – 2008 – 010 – 3

Přílohy k provedené simulaci v programu FormFEM 1.6

Příloha 1	Simulace pěchovací operace
Příloha 2	Simulace předkovací operace
Příloha 3	Simulace dokončovací operace